

Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Итоговая научная конференция

2016 года

Сборник докладов

Часть 1

Набережные Челны
2016

УДК 378:001 (063)

ББК 74.484.7 (2Рос.Тат.-2НабережныеЧелны)я431НЧИ

И 93

Итоговая научная конференция: (2016; Набережные Челны). В 3–х ч. Часть 1. Итоговая науч. конф. проф.-препод. состава, 5 февраля 2016 г. [Текст]: сб-к докладов / под ред. д-ра техн. наук **Л.А. Симоновой.** - Набережные Челны: Издательско-полиграфический центр Набережночелнинского института К(П)ФУ, 2016. – 256 с.

Данный сборник содержит статьи преподавателей, принявших участие в Итоговой научной конференции профессорско-преподавательского состава Набережночелнинского института КФУ, состоявшейся 5 февраля 2016 года. Тематика статей охватывает широкий круг вопросов в области технических, экономических и гуманитарных наук.

Ответственный редактор

доктор технических наук, профессор
Л.А. Симонова

Ответственный секретарь

Г.Р. Шаяхметова

© Набережночелнинский
институт КФУ, 2016 год

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СЕКЦИЯ «РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ОБРАБОТКИ»

Козин В.А.,

канд. техн. наук, доцент

Снижение брака отливок при вакуумно-пленочной формовке

Получение форм методом вакуумно-пленочной формовки (ВПФ) является одним из прогрессивных технологических процессов в мировой практике литейного производства. Процесс литья ВПФ (вакуум-процесс или V-Процесс) был разработан в Японии в 70-х годах двадцатого века и основан на эффекте уплотнения сыпучих материалов под воздействием разрежения. В нашей стране интенсивные исследования по технологии ВПФ и проектированию оборудования начались с 1975 г. в ЦНИИ Материалов (г. Ленинград). Процесс был признан крупнейшей инженерной разработкой в литейном производстве минувшего столетия [1, с.3].

Важнейшей характеристикой данной технологии является использование сухого песка без связующего, а также тонкой пластичной пленки при давлении вакуума от 0,3 до 0,6 бар. Отливки, полученные по V-процессу, характеризуются высоким качеством поверхности (параметр шероховатости Rz 630...80мкм) и обладают высокой размерной точностью (точность соответствует 6...14 группам). Можно получать отливки любой конфигурации 1...6 групп сложности массой от сотен грамм до десятков тонн с толщиной стенки свыше 3мм.

Технология V-Процесса включает следующие операции. На пустотелый корпус подмодельной плиты устанавливается модель, затем в рамку с подогревателями, имеющую габариты стола опоки, закрепляют термопластичную пленку. Нагреваясь, пленка под действием силы тяжести опускается на модель. В подмодельной плите устанавливается вакуум; пленка натягивается на модель, в точности повторяя ее контуры. После этого на пленку наносится антипригарная краска. Опока наполняется обычным сухим песком (применяют кварцевые, цирконовые, олевиновые пески и другие наполнители без влаги и связующего), который уплотняется вибрацией. Контрлад полуформы покрывается вакуумной пленкой. Конструкция опоки позволяет уплотнить песок между двумя слоями пленки посред-

ством вакуума. После отключения вакуума в подмодельной плите часть формы, с обеих сторон „закрытая“ пленкой и далее удерживаемая вакуумом, снимается с модельной оснастки. Нижняя полуформа кантуется, в нее устанавливаются необходимые стержни и две полуформы собираются в готовую форму. Разряжение поддерживается в процессе заливки и на начальном этапе затвердевания жидкого металла. При заливке пленка испаряется, либо сгорает под влиянием заливаемого металла. Под воздействием вакуума остатки пленки проникают в краску формы и вместе с частицами песка образуют тонкую оболочку, которая упрочняет поверхностный слой формы. При отключении вакуума песок высыпается, отливка освобождается для дальнейшей транспортировки [2].

Размерная точность ВПФ определяется особенностями вакуумной технологии, обеспечивающей высокую и равномерную степень уплотнения песка. Применяют мелкозернистый отсортированный песок без каких-либо добавок, способных привести к деформации формы. Наличие вакуума снимает вопрос газопроницаемости мелкозернистого формовочного материала. Охлаждение происходит в чистом песке без связующего - нет сопротивления усадке отливок со стороны формы, нет изгибания литья. Благодаря нанесению краски на пленку во время заливки предотвращается непосредственный контакт металла с формовочной смесью. Таким образом, качество поверхности отливок практически не зависит от типа используемого металла, хотя температура заливки и агрессивность расплава могут быть крайне разными. При определенных условиях возможен также отказ от обычно необходимого уклона на модели, что в дальнейшем значительно снижает трудоемкость механической обработки. Благодаря реверсивному переключению вакуума в процессе производства песчаных форм, между моделью и пленкой практически не возникает сопротивления трения, что позволяет легко извлекать модель и при нулевом уклоне формы. По сравнению с песчано-глинистой формовкой заполняемость формы металлом улучшается на 30%, что, помимо прочего, обусловлено тем, что во время процесса заливки при помощи вакуумной системы из формы удаляется воздух и литейные газы.

При V-процессе наблюдается особое поведение расплава при охлаждении в форме. В начале скорость охлаждения в течение короткого периода выше, т.к. отсутствует изолирующий газовый слой и расплав находится в непосредственном контакте со стенкой формы. Затем скорость охлаждения существенно снижается, что объясняется низкой теплопроводностью сухого формовочного материала. Постепенное и равномерное охлаждение отливки снижает вероятность возникновения внутренних

напряжений даже при значительных различиях стенок по толщине, и обычно не возникает необходимости отжига для выравнивания внутренних напряжений. Пленка предотвращает износ модели, появление заусенцев на отливке и за счет получения более чистой поверхности сокращаются очистные работы. Меняется понятие выбивки, так как при снятии вакуума сухой песок вместе с отливкой просто высыпается на решетку. V - процесс сокращает капитальные вложения и эксплуатационные расходы за счет исключения части операций смесеприготовления, транспортировки и выбивки отливки из форм. Песок не нуждается в регенерации, ни в механической, ни в термической - достаточно только просеять и охладить песок теплообменником, подключив к системе обеспыливания (потери песка в пыль составляют около 1%) [1,2]. Снижается энергоемкость производства и улучшаются санитарно-гигиенические условия труда за счет значительного уменьшения газовыделения из форм при заливке и затвердевании металла (газы отсасываются по системе трубопроводов, очищаются от пыли и удаляются за пределы цеха).

Преимущества ВПФ предопределили широкое распространение данного метода при получении ответственных крупногабаритных отливок в Японии, США и Китае. При модернизации литейного производства три вагоностроительных завода России выбрали вакуум-процесс для изготовления крупных железнодорожных отливок: Тихвинский вагоностроительный завод (ТВСЗ), Промтрактор-Промлит (г. Чебоксары), ВКМ-Сталь (г. Саранск) [2]. ТВСЗ выбрал литейное технологическое оборудование фирмы HWS-Sinto, Германия. Размер опок АФЛ фирмы HWS-Sinto составляет 3000x1800x500/500 мм при производительности до 20 форм в час.

Может показаться, что для начала производства необходимо просто установить соответствующее оборудование, тем более производители позиционируют его в качестве универсального, и все преимущества метода будут реализованы без каких – либо проблем. На практике оборудование часто требует серьезной настройки для изготовления конкретной номенклатуры отливок. Предприятия, не уделяя достаточно времени и средств изучению технологии и отработке техпроцесса, нередко получают массовый брак. На самом деле, V- процесс – это технология, позволяющая получать очень качественное литье с самым низким процентом брака и самой низкой себестоимостью при соответствующей технологической проработке. Накопленный производственный опыт зарубежных и отечественных предприятий позволяет с уверенностью рекомендовать эту технологию для широкого применения при мелкосерийном и массовом производстве отливок, как обеспечивающую получение максимального экономиче-

ского эффекта.

При ВПФ наблюдается брак по вине металла, вине формы и из-за нарушения технологических параметров. Холодный металл и питатели малого сечения приводят к недоливам и спаям. Отсутствие прибылей, повышенное газосодержание расплава, прерывание потока металла при заливке, повышенное выделение газа пленкой при термическом разложении и недостаточная величина вакуума при заливке металла в форму ведут к газоусадочным раковинам и пористости [3; 5 с.83]. Недостаточная огнеупорность формовочной или стержневой смеси при повышенной температуре металла может приводить к пригару. Небрежность и нарушения технологии при изготовлении литейной формы приводят к появлению песчаных включений. Особую роль в образовании газовых дефектов играют полимерные пленки и антипригарные покрытия. При ВПФ песчаные полуформы герметизируются пластической пленкой, толщиной 0,05-0,15 мм. Большая толщина применяется для глубокой вытяжки (с высотой моделей 500...600 мм). Для изготовления форм можно использовать два вида пленок. Один вид пленок применяется для формирования полости формы, другой для наложения на контрлад опоки (более тонкая, толщиной 0,03-0,05 мм). К пленкам, накладываемым на контрлад, не предъявляются высокие требования. Пленки, используемые для образования полости формы, должны обладать хорошей пластичностью в нагретом состоянии, быть достаточно прочными, способными покрывать развитую поверхность модели и литниковую систему, не прилипать к модели. Они должны иметь небольшую усадку при нагреве, равномерно растягиваться по всем направлениям, не выделять токсичных газов в окружающую среду и иметь относительно низкую стоимость.

Наиболее пригодной для использования при ВПФ является пленка из полиэтилена (ПЭ) и этиленвинилацетата (ЭВА), имеющая относительное удлинение в пределах 400-700%. Пленка из сополимера этилена с винилацетатом (сокращенное название «Сэвилен») выпускается в соответствии с ТУ 6-05-1636-78. НПФ "Шар" выпускает несколько видов пленок для изготовления металлических изделий методом вакуумно-пленочного формования. Предел прочности пленок при разрыве находится в интервале 170 - 280 кг/см², относительное удлинение при разрыве - не менее 530% [4]. При температурах, близких к 300°C и более высоких в присутствии воздуха происходит термоокислительная деструкция, а затем и сгорание пленки. Продукты деструкции и сгорания содержат преимущественно углекислый газ и пары воды. Газовыделение должно быть возможно меньшим, чтобы избежать появления газовых дефектов в получаемых отливках. Поэтому желательно применение тонких

пленок.

На поверхности или внутри тонкостенных отливок нередко появляются газовые раковины. Залитый металл присасывается к поверхности формы, и быстро затвердевает. Незначительная часть продуктов разложения пленки, под действием вакуума, через поры противопопригарного покрытия проникает в форму, где сгорает и продукты горения удаляется вакуумной системой. Основная же часть продуктов разложения пленки не проникает в форму, в виду незначительной пористости противопопригарного покрытия и быстрого заполнения формы жидким металлом, при этом продукты разложения пленки смешиваются с наружным слоем металла, что и является главной причиной образования пористости при использовании вакуумно-пленочной формовки. Данный дефект особенно явно проявляется на плоских отливках, имеющих большую горизонтальную плоскость контакта металла с формой, где пленка имеет наименьший процент вытяжки и, соответственно, максимальную толщину, что влияет на количество продуктов разложения пленки при заполнении форм металлом. Газовые раковины также образуются из-за влажности противопопригарного покрытия, в местах низкого вакуума в форме и вблизи поверхности стержней.

Противопригарное покрытие, наряду с высокой огнеупорностью, должно прочно сцепляться с пленкой, незначительно смачиваться жидким расплавом и обладать еще одним не маловажным свойством – проницаемостью, на которое порой не обращают внимания. Необходимая величина проницаемости (размер пор и трещин) покрытия должна позволить свободный выход из полости формы продуктов разложения пленки под действием разности давлений и препятствовать проникновению жидкого металла в форму [3].

Для устранения пористости необходима полная сушка противопопригарного покрытия, уменьшение толщины пленки. Заливку металла следует производить непрерывно при оптимальной температуре, контролируя глубину вакуума при заливке и размещая трубки вакуумного отсоса в зонах формы с недостаточным разряжением. Для плоских отливок целесообразно заливку форм производить под наклоном.

На различных стадиях изготовления формы требуется различная глубина вакуума. При наложении пленки глубина вакуума должна быть не более 300-500 мм рт. ст., а после насыпки песка - до 400-500 мм рт. ст. Высокий вакуум при заливке форм приводит к проникновению металла в форму и образованию пригара. Этот вид дефекта возникает при применении песка крупной фракции в сочетании с глубоким вакуумом.

Для снижения пористости, вероятности размыва и местного разрушения форм в работе [3] предложен способ удаления синтетической пленки из полости формы перед заливкой металла. Предполагается продувка горячим воздухом внутренней полости формы для расплавления синтетической пленки и удаления ее посредством вакуума через поры противопригарного покрытия в поверхностный слой формы. В готовую форму через открытые части литниковой системы подается горячий воздух, температура которого и время продувки формы подбирается опытным путем. Горячий воздух разогревает синтетическую пленку до жидкотекучего состояния. Посредством вакуума, через поры противопригарного покрытия, расплавленная масса проникает во внутренний поверхностный слой формы и там кристаллизуется, образуя, вместе с поверхностным слоем песка и противопригарным покрытием, герметичную корку. При заливке такой формы металл контактирует непосредственно с противопригарным покрытием. Слой пленки находится под покрытием и продукты термического разложения беспрепятственно удаляются вакуумной системой. Кроме этого, за счет предварительной термической обработки формы происходит дополнительная сушка противопригарного покрытия и удаляется остаточная влага. Улучшается жидкотекучесть металла, снижается скорость образования поверхностной корки металла внутри горячей формы и вероятность образования пористости.

Таким образом, правильно разработанная литниковая система, качественно подобранные расходные материалы и технология, наличие квалифицированных специалистов являются важнейшими факторами получения качественных отливок по методу вакуумно-пленочной формовки.

Литература

1. Илларионов И.Е., Кузнецов В.П. Вакуумно-пленочная формовка. История развития и внедрения в отечественной промышленности // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. № 10. С.3-8.

2. Интернет-ресурс: Буданов Е.Н., Мельников И.А. Модернизация производства крупных железнодорожных отливок по инновационной технологии Вакуумно-пленочной формовки - ИТБ "Литье Украины". 2010. №6 (118) . <http://lityo.com.ua/>

3. Интернет-ресурс: Феклин Н. Д. Способ устранения дефекта «пористость» при вакуумно-пленочной формовке - ИТБ "Литье Украины". 2014. №3 (163)

<http://lityo.com.ua/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B8/7>

773-sposob-ustraneniya-defekta-poristost-pri-vakuumno-plenochnoj-formovke

4. Интернет-ресурс: Разработка и выпуск сэвильновых пленок для вакуум-формовки, пленки для литья металлов методом вакуумно-пленочного формования <http://www.sharspb.ru/ind/vakuum-phorm/>

5. Иванов В. В. Теоретические и технологические основы изготовления качественных отливок в вакуумно-пленочных формах : дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.04. Комсомольск-на-Амуре, 2006. 367 с.

Кокина Т.М.,

канд. техн. наук, доцент,

Назипова А.И.,

студентка

Набережночелнинского института КФУ

Применение композитных материалов при конструировании деталей привода

Анализ свойств композитных материалов показал, что в сравнительная прочность композитных материалов и чугунов отличается примерно в три раза в сторону ее понижения. Однако, технологические условия исполнения изделия недостаточно разработаны. В частности, возможными недостатками при проектировании конструкций из композитных материалов, является недостаточность разработки технологии по вторичному использованию выбранного композита премикс. Возможная область использования композитных материалов – конструирование и производство корпусных деталей.

При выборе материала основными требованиями оставались *требования изгибной прочности конструкции*. Анализ свойств композитных материалов показал, что в сравнительная прочность композитных материалов и чугунов отличается примерно в три раза в сторону ее понижения. Однако, технологические условия исполнения изделия гораздо выше. Вместе с тем, ненасыщенная полиэфирная смола ПН-609-21М, являясь связующим выбранного материала, не содержит стирол, вследствие чего она является гораздо менее вредной для здоровья и обеспечивает лучшие условия труда по сравнению с обыкновенными полиэфирными смолами, содержащими стирол.

Основные методы производства заготовки – это литье под давлением и прямое компрессионное прессование. Использование метода вакуумной

диффузии не дает достаточного качества для изделий массового производства.

Анализируя большое количество волокнисто-армированных композитов [1], можно сделать вывод, что для изготовления детали предпочтительней выбрать готовый полуфабрикат (препрег, премикс). Если же остановить выбор на отдельных компонентах, можно столкнуться с такими трудностями, как множество ограничений свойств, трудоемкость получения, высокая стоимость и т.д. Свойства же полуфабрикатов являются более стабильными. Среди их преимуществ отличное соотношение прочности к весу, низкая усадка, высокое качество получаемой поверхности, легкость создания конструкций и низкая стоимость.

Для разработки конструкции была выбрана оценочная модель, не отражающая полных свойств по прочности и жесткости конструкции, основанная на оценке изгибной прочности.

При выборе толщины стенок детали (рис 1), рекомендуемую толщину стенок δ назначают в зависимости от приведенного габарита N (табл.1):

$$N = \frac{2 \cdot L + B + H}{3}$$

где L, B, H - габариты плиты

Таблица 1

Выбор толщины стенки изделия

Габарит плиты, N , м	0,4	0,6	1,0	1,5	2,0
Толщина стенки δ , мм	7	8	10	12	14

Габариты плиты в плане определяются лапами узлов, которые вычисляются по формуле:

$$\delta = 3 + 7 \cdot N \geq 6$$

Эта формула является эмпирической и справедлива при $N \leq 2$ м. Отсюда, высота лапок принимается $h = 1,5 \cdot \delta = 10,5$ мм, а длина лапок $l = 3 \cdot \delta = 21$ мм.

Основными требованиями, предъявляемыми к конструкции плит являются: жесткость, прочность, надежность, виброустойчивость и эконо-

мичность, рационально выбранные габаритные размеры, а так же удобство при изготовлении, и др.

Жесткость конструкции является основным критерием работоспособности фундаментных плит [2]. Повышенные упругие перемещения, возникающие в фундаментных плитах, при недостаточной жесткости, приводят к неправильной работе механизмов, понижению точности работы машины и благоприятствуют возникновению колебаний.

Для восстановления прочности и жесткости в местах крепления применяют приливы и ребра.

При проектировании отверстий крепления к бетонному основанию используются сквозные отверстия с прилеганием к стенкам детали, что придает конструкции дополнительную прочность. Высота всех приливов плиты должна быть одинаковой для использования стандартных болтов одной длины.

Возможно исполнение сквозных отверстий с оребрениями без прилегания к стенкам конструкции. Выбор того или иного варианта выполнения конструкции тесно связаны с технологическим процессом изготовления. Технология последовательного прессования из полуфабриката возможна так же и для сложных конструкций, таких как производство плит и оснований приводов машин.

Корпусная деталь из композитного материала

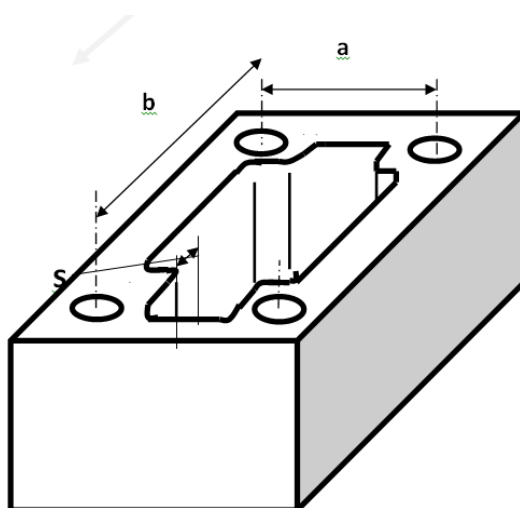


Рис. 1. Назначение размеров детали

Литература

1. Б.В. Панфилов, «Композиционные материалы: производство, применение, тенденции рынка»-журнал «Полимерные материалы» - М.: «Пресса о нас», 2010, № 2-3.-43с.

2. Н.М. Рабданова, под редакцией В.С. Балбарова, «Рамы и плиты» - Методические указания по конструированию оснований приводов - Улан-Удэ: Издательство «ВСГТУ», 2010-28 с.

Корчагин О.П.,
канд. техн. наук, доцент,
Зонина С.В.,
ст. преподаватель

Технические решения при восстановлении храма в селе Новотроицкое

В селе Новотроицкое Тукаевского района Республики Татарстан несколько лет ведутся реставрационно-восстановительные работы в Храме Живоначальной Троицы. В ходе этих работ появились многочисленные технические задачи. Несколько слов об истории постройки храма и его конструктивных особенностях.



Рис. 1. Общий вид колокольни

Двухпрестольный Храм Живоначальной Троицы строился с 1831 по 1852 год. Такой длинный срок объясняется нехваткой денежных средств (одна половина средств - от Министерства Императорского Двора, вторая - от прихожан). Проектировал храм уфимский губернский архитектор А.В.Алфеев на основе образцовых проектов знаменитого зодчего К.А.Тона. Храм осевой композиции, имеет два престола: Живоначальной Троицы (освящён в октябре 1852 г.) и в честь Покрова Пресвятой Богородицы (освящён в мае 1835 г.). Храм выстроен в эклектичном стиле. Основной объём - односветный четверик, стены которого посредством парусов переходят в высокий барабан, освещённый десятью окнами, перекрытый купольным сводом. Храм является памятником культовой архитектуры, выполненный в русско-византийском стиле. В 1930-х годах храм был закрыт и использовался в качестве склада. В 2003 году он был передан Казанской епархии Русской Православной Церкви. С этого времени и начались реставрационные работы (см рис.1).

Основные характеристики объекта следующие. Фундаменты под стены ленточные, выполнены из бутового камня. Отметка низа фундаментов 1,5-1,6 м от уровня планировки. Несущим горизонтом фундаментов является ИГЭ-2 - суглинок просадочный, твёрдый. Наличие характерных трещин на фасаде (особенно явно выраженных на участках сопряжения разновысотных частей храма, например, у стены, примыкающей к колокольне, рис.2), свидетельствует о недостаточной несущей способности и неравномерных осадках основания. В ходе обследования выявлено, что осадки фундаментов составляют до 266 мм. Это значение более чем в два раза превышает допустимое в 120 мм [1]. Относительная разность осадок фундаментов колокольни в осях 1-2/А-Г составляет 0,0180, что превышает допустимое значение, равное 0,0020 [1]. Поверочные расчёты показали, что несущая способность фундаментов столпов в осях 1-2/Б-В не обеспечивается из-за недопустимых осадок. Стены и кирпичные столпы. Стены и столпы двух Приделов находятся в удовлетворительном состоянии. В более сложном положении стены и столпы колокольни. В осях 1-2/Б-В массивные кирпичные стены четверика, трапециевидной формы в плане, имеют размеры на первом ярусе 2500x2315 мм, а на втором ярусе их толщина уменьшается на 1/2 кирпича. На верхнем ярусе (ярусе звона) кирпичные стены восьмерика также трапециевидной формы с размерами в плане 750x830 мм. Наружные стены в осях Г/1-2, А/1-2, 1/В-Г, 1/А-Б имеют среднюю толщину 1000 мм. Внутренние в осях Г-В/1-2 - 770 мм, в осях А-Б/1-2 - 350 мм. Кладка выполнена из глиняного нормально обожжённого полнотелого кирпича на известково-песчаном растворе. Кирпич изготов-

ливался в полукустарных условиях в монастыре, поэтому имеет непостоянные размеры: длина - 260-280 мм, ширина 140-160 мм, толщина 70-85 мм. Отсюда и непостоянная толщина стен по длине. Механическим зондированием кирпичных столпов четверика нижнего яруса выявлено, что они на толщину 380 мм (1,5 кирпича) выполнены из кирпичной кладки, а далее идёт забутовка из природного камня, раствора и кирпичного боя. Результаты испытаний образцов раствора 3х3х3 см и 4-х цельных кирпичей показали, что раствор соответствует марке М 10, а кирпич - М 100. Поворотные расчёты показали, что несущая способность столпов при данных характеристиках и реальных нагрузках обеспечивается.

Перемычки. Перемычки в проёмах колокольни имеют отличия как по форме, так и по материалу. Дверные и оконные проёмы первого яруса имеют арочные кирпичные перемычки высотой 260-270 мм. Оконные проёмы четверика второго яруса перекрыты четырьмя деревянными брусками 200х200 мм из дуба, поверх которых уложены кирпичные клинчатые перемычки высотой 260-270 мм. Оконные проёмы восьмерика яруса звона обрамлены кирпичными арочными перемычками. Для выполнения подмостей для установки колоколов на отметке +18.960 в проёмах четверика выполнены деревянные дубовые перемычки из бруса 200х150 мм.

Обследование выявило следующие дефекты и деформации стен и кирпичных столпов колокольни: разрушение кирпичной кладки восьмерика верхнего яруса в виде фрагментации, уменьшение сечения столпов восьмерика верхнего яруса из-за пробивки отверстий для устройства подмостей для монтажа колоколов, разрушение арочных перемычек верхнего яруса из-за эрозии с выпадением кирпичей, коррозия металлических затяжек, разрушение кирпичной кладки, выкрашивание кирпичей и выпадение плит карнизных участков стен первого яруса, трещины на поверхности наружных стен в осях А/2 и Г/2 с шириной раскрытия до 20 мм, разрушение деревянных перемычек и подмостей для установки колоколов, горизонтальные смещения столпов второго яруса: завал в осях 1-2/Б-В относительно оси А составляет 63 мм, перекося в осях 1-2/Б-В относительно оси 1 - 141 мм, суммарные перемещения составляют 154 мм.

Техническое состояние кирпичных столпов яруса звона (с отметки +16.500 по +20.800) в соответствии с ГОСТ 31937-2011 следует признать аварийным [2]. Техническое состояние кирпичных столпов и стен первого и второго ярусов как ограниченно-работоспособное.

Перекрытия. Перекрытие основной части колокольни в осях 1-2/Б-В на отметке +6.900 выполнено в виде двояковыпуклого свода с забутовками пазух. Толщина свода 120 мм, в щельге 360 мм. Свод засыпан грунтом.

Перекрытие первого этажа в осях 1-2/А-Б на отметке + 2.880 толщиной 260 мм дощатое, уложено на металлические балки из двутавров и швеллеров №20. Шаг балок 2 м, пролёт - 2,6 м. Основными дефектами перекрытий следует считать следующие: нерегулярные трещины на внутренней поверхности кирпичного свода в осях 1-2/Б - В, следы замачивания и замораживания на внутренней поверхности кирпичного свода, частичное выветривание кладки свода.

Техническое кирпичного свода оценивается как ограниченно-работоспособное, а остальных элементов перекрытий колокольни как работоспособное. Лестницы в осях 1-2/Б-В. С отметки 0.000 до отметки +3.380 лестница с забежными каменными ступенями высотой 260 мм. Ширина лестницы 760 мм. С отметки +3.380 до отметки +5.735 лестница металлическая, четырёхоборотная с углом подъёма 39 градусов. Ширина маршей от 550 мм до 650 мм. Такую же ширину имеют промежуточные площадки. Тетивы маршей лестницы выполнены из швеллеров №№ 8 и 6,5, а балки промежуточных площадок из швеллеров №№10 и 8, а также уголков 63х5. Ступени и настил площадок из стального листа с ромбическим рифлением. Настил площадок укреплён рёбрами жесткости из уголка 50х5. Основными дефектами лестниц следует считать местные выбоины каменных ступеней, отсутствие (частичное) перил, разрушение антикоррозионного покрытия на металлических конструкциях. Лестница и площадки колокольни в осях 1-2/Б-В. С отметки +6.900 до отметки +16.500 выполнена металлическая двухмаршевая лестница. На отметках +12.250 и +13.900 выполнены промежуточные площадки, а на отметках 9.900 и 16.500 этажные площадки. Ширина лестничных маршей 600 мм, высота ступеней 200 мм. Угол подъёма от 40 до 65 градусов. Тетивы лестниц из швеллера №20, ступени из трёх арматурных стержней диаметром 20 мм по уголкам 25. Элементы лестниц с отметки 9.900 поэтажно передают нагрузку на нижележащие конструкции через четыре стойки диаметром 102 мм. Площадки выполнены из металлического листа с ромбическим рифлением толщиной 4 мм, уложенного на металлические балки. Балочные системы состоят из главных балок (из швеллеров №№24 и 20, двутавров №24) и второстепенных балок (из швеллеров №№20,14,12,10 и 8). Главные балки на отметке +9.900 опираются на стены, а остальные - на стойки из труб диаметром 102 мм. Второстепенные балки сопряжены сварными швами с главными в одном уровне и не опираются на стены. Поверочными расчётами установлено, что несущая способность главных и второстепенных балок, а также стоек-труб обеспечивается. Главными недостатками лестничных конструкций следует считать: зыбкость площадок, непровары и наплывы

сварных швов в узлах, разрушение антикоррозионного покрытия.

Техническое состояние конструкций лестницы с отметки+6.900 до отметки +16.500 в целом оценивается как *аварийное* [2]. Отмостка вокруг здания храма отсутствует, что является недопустимым при наличии под фундаментами просадочных грунтов.

Рекомендации по усилению несущих конструкций

Для завершения строительства и дальнейшей безопасной эксплуатации колокольни в осях 1-2/Б-В в проект реконструкции (ремонтно-восстановительных работ) включить проведение следующих работ:

1. Закрепление грунтов в целях повышения несущей способности грунтов основания фундаментов колокольни в осях 1-2/А-Г методом цементации. Необходимо пробурить лидерные скважины глубиной 3,5-4 м с шагом 3 м. В скважины нагнетать цементно-песчаный раствор марки М 150.

2. Проведение мониторинга за состоянием строительных конструкций в соответствии с требованиями п.6 ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», включающий в себя наблюдение за высотным положением здания геодезическими методами в период ремонтно-восстановительных работ и в течение года после их окончания.

3. Усиление кирпичных столпов четверика второго яруса, находящихся в ограниченно-работоспособном состоянии, устройством стальных обойм, состоящих из уголков 75x75x5 мм, планок 50x5 мм, покрытых антикоррозионным составом и оштукатуренных полимерцементным раствором марки М125 толщиной 25-30 мм.

4. Усиление и восстановление облицовочного слоя кирпичных столпов стен (простенков, обвязочных поясов), разрушенного эрозией и замораживанием, оштукатуриванием по металлической сетке, закреплённой стальными анкерами к поверхности, высокопрочной цементно-песчаной штукатуркой с полимерными добавками М125 после предварительной очистки поверхности от крошки кирпича и раствора (возможный состав - [TAMIRART S40 \(4004\)](#)).

5. Цокольный участок стен из бутового камня необходимо укрепить. Для этого вдоль стен на глубину до 0,5 м откопать траншею. Очистить обнажившуюся поверхность бутового камня и швы от пыли и грязи. Установить в швы бутовой кладки металлические анкеры из арматурной стали А300 Ф 10мм с шагом 400мм в шахматном порядке. Длина анкеров 150мм. По поверхности цоколя к анкерам закрепить металлическую сетку типа «Рабица». По сетке нанести штукатурный слой из цементно-песчаного рас-

твора М125 с полимерными добавками, толщиной 30 -35мм.

6. Карнизы необходимо реконструировать. Для этого следует демонтировать кирпичную кладку карнизов (она на 80 – 90% имеет неприемлемый для дальнейшей эксплуатации вид) и снять карнизные плиты, прослужившие 160 – 180 лет.

7. Столпы восьмерика колокольни (выше отметки + 16,500) укрепить металлическим обрамлением (см. рис. 2) и заполнить пустоты в кладке, образовавшиеся вследствие многолетней эрозии, мелкозернистым бетоном на безусадочном цементе. Для этого кирпичные столпы по контуру обрамить уголком 63 х 5.

8. Верхнюю площадку восьмерика колокольни выполнить в виде восьмиугольной железобетонной плиты толщиной 80мм. Армирование плиты выполнить из плоской металлической сетки. Сетку изготовить из арматуры А 400 ф 10мм с шагом 200мм в двух направлениях.

9. Деревянные перемычки в проёмах восьмерика на отметках +14.000, +19.780, разрушенных деструктивной гнилью, заменить монолитными железобетонными (см. рис. 3).

10. Усиление, обеспечение устойчивости и неизменности металлических конструкций лестницы в осях 1-2/Б-В. Зыбкость площадок лестницы должна быть исключена путем приварки металлических профилей (уголка 50 х 4мм (см. рис.4)).

11. Все поврежденные коррозией участки металлических конструкций лестниц (находящихся вне внутренних помещений) очистить от продуктов коррозии и восстановить лакокрасочный защитный слой.

12. Лестница в осях 2/А (ведущая в помещение воскресной школы), как не соответствующая требованиям надежной эксплуатации должна быть заменена. Для этого нужно новое проектное решение. Возможный вариант – винтовая лестница с несущей стойкой.

13. Усиление конструкций кирпичного свода в осях 1-2/Б-В устройством штукатурной обоймы методом торкретирования, предварительно очищенной поверхности свода от деструктированных (разрушенных) фрагментов раствора и кирпича, пыли. Поверхность кладки и бетона, контактирующую с торкрет-бетоном, обработать средством «бетон–контакт».

14. Наружную поверхность свода в осях 1-2/Б-В очистить от грунтового слоя утеплителя, восстановить штукатурный слой полимерцементным раствором, выполнить оклеечную пароизоляцию. По слою пароизоляции уложить слой жёсткого утеплителя толщиной 100 мм, по нему уложить выравнивающий штукатурный слой по металлической сетке толщиной 26-30 мм. По стяжке выполнить 4-слойную оклеечную гидроизоляцию.

15. Поврежденные участки бетонных полов и сколы бетонных ступеней лестниц следует восстановить После укрепления цоколя и стен, по уплотнённому грунтовому основанию. Для этого очистить поверхность поврежденных участков и заполнить мелкозернистым бетоном класса В 20 (следует применить безусадочный полимерцементный ремонтный состав BASF серии ЕМАСО].

16. По периметру всего здания выполнить бетонную отмостку шириной 1,5 м. Для бетонной подготовки применить бетон класса В20.

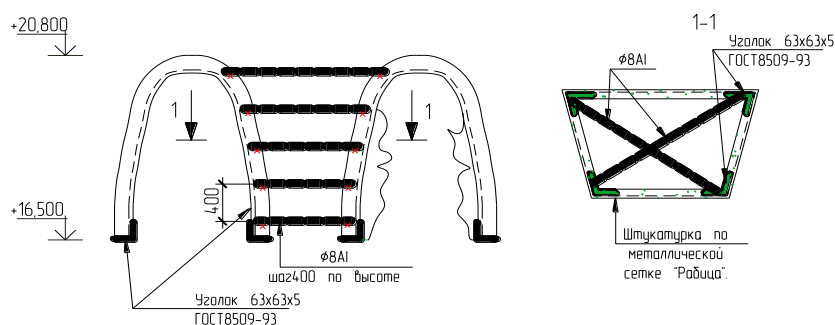


Рис.2

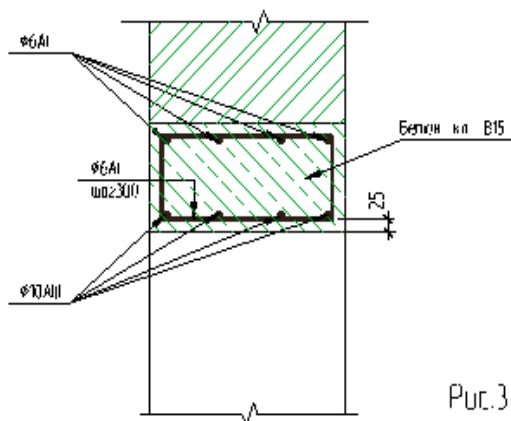


Рис.3

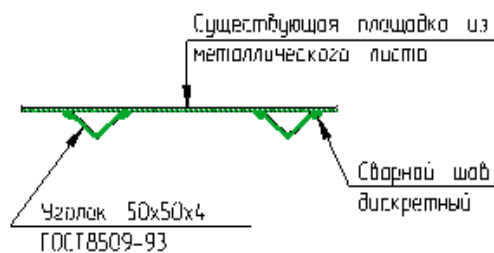


Рис.4

Литература

1. СП 22.13330.2011 "Основания зданий и сооружений", 2011г.
2. ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», 2011г.
3. СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений», 2003 г.

Кужагильдин Р.С.,
ст. преподаватель,
Шутова Л.А.,
ст. преподаватель,
Западнава Н.Н.,
ст. преподаватель

Исследование структуры и свойств микролегированной стали для производства шатунов ДВС

Среди различных направлений по экономии материальных и энергетических ресурсов в машиностроении перспективным является использование остаточного ковочного тепла полуфабрикатов, изготовленных методами горячей пластической деформации, для получения в режиме контролируемого охлаждения требуемой структуры и свойств. Основной проблемой при этом является невозможность сохранения мелкозернистого строения в известных и стандартизированных марках сталей при их высокотемпературном нагреве (выше 1000°C). В случае роста зерна в стали оно наследуется в дальнейшем в полуфабрикатах и это явление снижает ее пластичность и ударную вязкость. Для исправления структуры перегрева такие полуфабрикаты подвергаются термообработке с обязательной перекристаллизацией стали. Решением указанной задачи может являться применение новых марок сталей, которые в первую очередь обладают высокой сопротивляемостью к росту зерна при нагреве. Представителями таких сталей являются дисперсионно-твердеющие стали, микролегированные ванадием и ниобием в сочетании с азотом.

В результате анализа применения дисперсионно-твердеющих сталей для деталей автомобиля выявлено, что они имеют неоспоримое преимущество перед стандартизированными марками и открывают новые возможности по повышению работоспособности изделий в эксплуатации и экономии материальных и энергетических ресурсов на стадиях металлопердела в машиностроительном производстве.

Аналитические исследования состава, свойств и области применения микролегированных сталей для контролируемойковки, в том числе и самозакаливающихся, показывают, что к настоящему времени накопился положительный опыт их использования в Германии, Японии, Финляндии, США, России и других странах при изготовлении деталей машин взамен традиционных термически улучшаемых сталей. К таким сталям, в первую очередь, относятся стали микролегированные ванадием, ниобием и азотом,

которые являются дисперсионно-твердеющими. Эти стали сохраняют мелкозернистое строение не только при ковочных температурах, но и в результате последеформационного охлаждения, если оно начиналось немедленно после штамповки. Скорость охлаждения при этом должна быть не менее критической z^0 C/сек.

Для изготовления деталей автомобиля, типа коленчатый вал и шатун, успешно применяют как стандартные, так и микролегированные стали. Главным достоинством микролегированных сталей по отношению к стандартной стали 40ХН2МА, 42ХМФА является получение высоких механических свойств в поковках непосредственно после горячей пластической деформации заготовок, что исключает необходимость последующей аустенизации при их термическом улучшении.

При комплексном подходе, учитывающем механические и технологические свойства, а также экономическую целесообразность применительно к условиям ПАО «КАМАЗ» предпочтение отдается стали марки 38 MnVS6 по DIN 10267 (аналог стали 38Г2АФ).

Данная марка стали может быть произведена на ряде металлургических комбинатов. Из потенциальных поставщиков предпочтение имеет ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» (ОЭМК).

На рис. 1 и 2 представлены диаграммы распада аустенита в сталях аналогичных стали 38MnVS6.

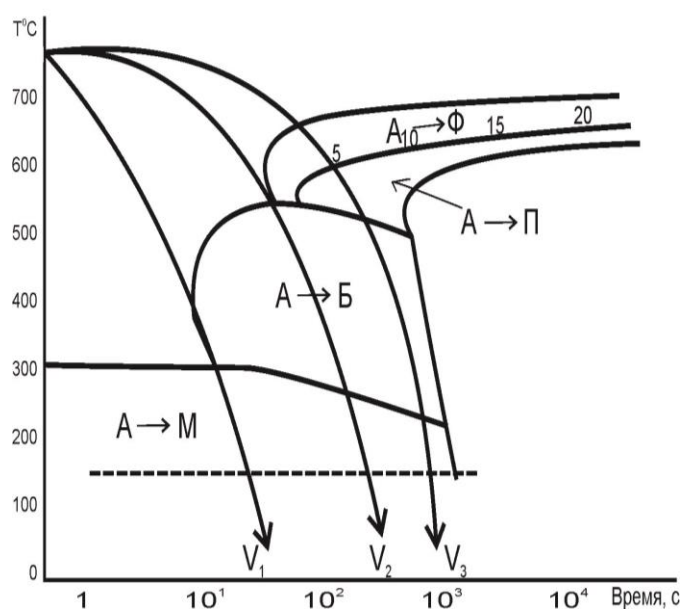


Рис. 1. Термокинетическая диаграмма распада аустенита стали 40Г2Ф (аналог 38MnVS6). Скорость охлаждения $V_1=47^0C/c$; $V_2=9^0C/c$; $V_3=0,2^0C/c$.

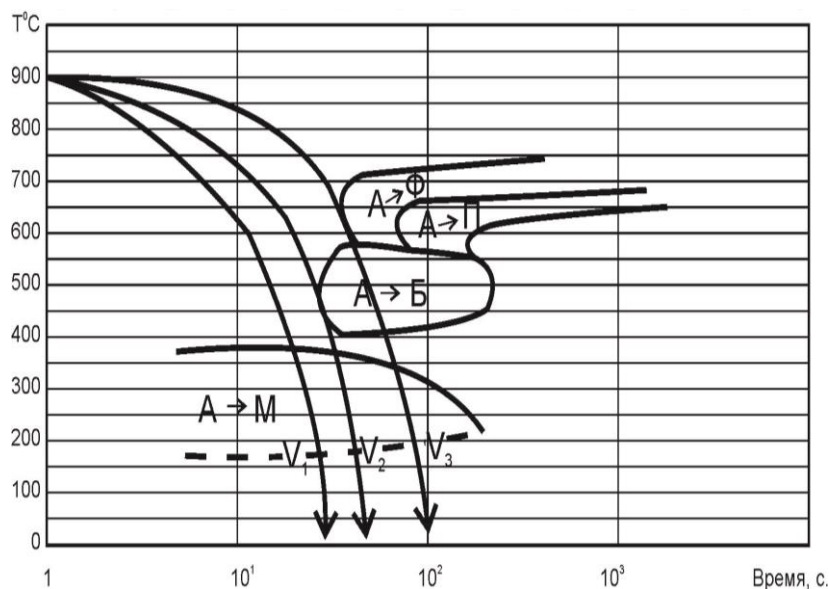


Рис. 2. Термокинетическая диаграмма распада аустенита стали 38MnSiV6 (аналог 38MnVS6). Скорость охлаждения $V_1=30^0\text{C}/\text{c}$; $V_2=23^0\text{C}/\text{c}$; $V_3=8,5^0\text{C}/\text{c}$.

Согласно имеющейся информации по распаду переохлажденного аустенита в сталях-аналогах с целью исключения выделений феррита в стали охлаждение после деформации должно проводиться со скоростью не менее $10^0\text{C}/\text{сек}$, а начало скоростного охлаждения необходимо осуществлять с температуры не ниже $900 - 950^0\text{C}$.

В производственных условиях оценена возможность применения этих сталей для изготовления поковок шатуна.

Опытные поковки шатуна изготавливали по действующему технологическому процессу из специально подготовленных и нагретых до температуры $1250 \pm 10^0\text{C}$ с помощью ТВЧ заготовок. После завершения горячей пластической деформации поковки подвергались охлаждению сжатым воздухом ($3,0 - 3,5\text{ атм}$) и водо-воздушной смесью. Установлено, что при двухстороннем охлаждении поковок сжатым воздухом в течение 60 сек. температура в зоне максимального сечения достигает $\sim 500^0\text{C}$. Такая же температура зафиксирована и на поковках после 45-секундного охлаждения водо-воздушной смесью. В таблице 1 представлены результаты по микроструктуре и механическим свойствам металла поковок. Видно, что все поковки имеют высокую твердость (выше требований ЧТД), а соответственно и прочность. Кроме того, в микроструктуре присутствует в небольшом количестве феррит (рис.3).

Механические свойства стали 38 MnVS6

Условия охлаждения	σ_T Н/мм ²	σ_B Н/мм ²	ϵ %	ψ %	КСУ Дж/см ²	Твердость, ГОСТ 9012-59, НВ		Микро- структура
						поверхность	сечение	
Сжатый воздух	1080	1250	10	11,5	17	401	461	М + Φ_3
Водовоздушная смесь	745	980	19	48,5	60	293	285	С + Φ_c
Сжатый воздух	775	1000	19	45,5	59	302	293	С + Φ_c
По НД	≥ 640	≥ 785	≥ 13	≥ 42	≥ 98	245-285 НВ	245-285 НВ	Сорбит

Обозначения: М - мартенсит; С - сорбит; Φ_3 - феррит в виде зерен; Φ_c - ферритная сетка

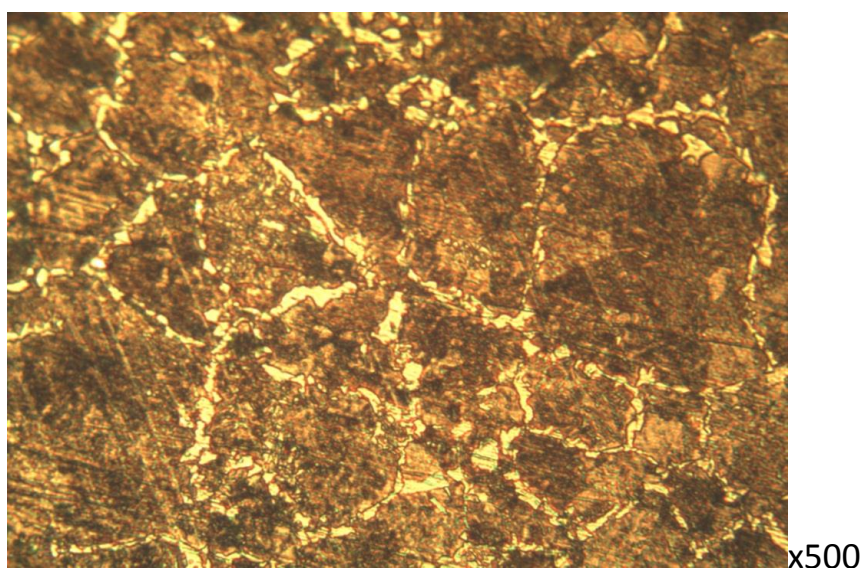


Рис. 3. Присутствие феррита в структуре стали

Для обеспечения заданной ЧТД твердости, поковки подвергались отпуску при температуре 620 – 650 °С. Механические свойства и структура стали после отпуска представлены в таблице 3 из которой видно, что по всем показателям свойств сталь удовлетворяет требованиям НТД за исключением значений ударной вязкости. Причиной пониженной ударной вязкости, по видимому, послужило присутствие в структуре феррита.

Таблица 2

Механические свойства и структура стали после отпуска в течение 180 мин

Условия охлаждения после штамповки	σ_T Н/мм ²	σ_B Н/мм ²	ϵ %	ψ %	КСУ Дж/см ²	Твердость, ГОСТ 9012-59, НВ		Микро- структура
						поверхность	сечение	
Водовоздушная смесь+ отпуск 650°С	725	905	17	49,5	51	285	277	С + $\Phi_{п.с}$
Сжатый воздух+ отпуск 620°С	705	920	19,5	53,5	67	285	277	С+ $\Phi_{п.с}$
По НД	≥ 640	≥ 785	≥ 13	≥ 42	≥ 98	245-285 НВ	245-285 НВ	С

Обозначения: М - мартенсит; С - сорбит; Φ_3 - феррит в виде зерен; Φ_c - ферритная сетка

Предполагается, что выделение феррита в исследуемой микролегированной стали произошло из-за низкой скорости охлаждения поковки после завершения пластической деформации при перемещении поковки по транспортеру и передаче поковки к устройству для охлаждения. Присутствие феррита в структуре также наблюдается и на поковках охлажденных водо-воздушной смесью.

Исправление указанного дефекта структуры происходит после термоулучшения поволоков по заводскому режиму: штамповка, закалка при 860°С, отпуск при 620°С в течение 3 часов.

Механические свойства шатунов после термоулучшения приведены в табл. 3.

Таблица 3

Механические свойства шатунов, ГОСТ 1497, 9454

№ обр.	σ_T Н/мм ²	σ_B Н/М М ²	ϕ %	ψ %	КСУ Дж/см ²	Твердость, ГОСТ 9012-59, НВ	
						поверх- ность	сечение
Контрольный образец	720	825	17,5	56,5	123	262	262
По ЧТД	≥ 640	≥ 785	≥ 13	≥ 42	≥ 98	245- 285НВ	245- 285НВ

Микроанализ показал, что микроструктура шатуна в регламентированном сечении по ЧТД представляет собой равномерную феррито-карбидную смесь (сорбит).

Выводы.

1. Исследованные режимы охлаждения поковок шатуна (сжатым воздухом, водо-воздушной смесью) после горячей объемной штамповки обеспечивают достижение требуемых ЧТД значений твердости, прочности и пластичности, кроме ударной вязкости, что связано с присутствием феррита в структуре стали.

2. Обеспечение требуемой ЧТД ударной вязкости, а также исправление дефекта структуры происходит после термоулучшения поковок по заводскому режиму: штамповка, закалка при 860°C , отпуск при 620°C в течение 3 часов. В данном случае микроструктура шатуна в регламентированном сечении представляет собой равномерную феррито-карбидную смесь (сорбит).

3. Использование ковочного тепла для получения регламентированных ЧТД свойств и структуры шатуна на стали 38 MnVS6 станет возможным при температуре конца штамповки не ниже 950°C и применении более интенсивного охлаждения с целью исключения выделений феррита.

Литература

1. Диаграмма превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: Справочник термиста. Попова Л.Б., Попов А.А. 3-е изд., перераб. И доп. М.: Металлургия, 1991. 503 с.

2. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд. – 3-е изд., перераб. и доп. В 3-х т. Т. 2. Основы термической обработки/Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. М: Металлургия, 1983. 368с.

Рябов Е.А.,
ст. преподаватель,
Алексеев С.Ю.,
канд. техн. наук, доцент,
Юрасов С.Ю.,
канд. техн. наук, доцент

Особенности проектирования параметрических трёхмерных моделей режущего инструмента в САД-системах

На сегодняшний день существует множество фирм, выпускающих инструмент, таких как Sandvik, Iscar, DIXI, ЮМТ, Hofman и др. Каждая из этих фирм выпускает каталог, в котором под любые конкретные условия, исходя из классификатора, можно подобрать инструмент и рекомендуемые режимы обработки. Однако на отечественных предприятиях зачастую часть режущего инструмента делается по ГОСТ, так как в них указаны все конструктивные параметры, но в них не даётся никаких рекомендуемых режимов эксплуатации. В виду достаточно высокой стоимости такого инструмента, ошибка в выбранных режимах резания может привести к большей себестоимости конечного изделия. Чтобы избежать таких ошибок есть возможность рассчитать нагрузки на конечно-элементной модели такой фрезы. По анализу полученных данных дать рекомендации по использованию тех или иных режимов резания. Но для создания конечно-элементной модели необходимо создать достаточно точную трёхмерную твердотельную модель. Осуществлять каждый раз расчёт и построение модели под конкретную деталь очень затратно, так как требует от специалиста знаний и понимания процесса не только проектирования инструмента, но и знания в области моделирования, ведь модель может содержать большое количество поверхностей и взаимосвязанных параметров (рис. 1). Чтобы избежать такого перерасхода ресурсов можно создать мастер-модель или по-другому параметризованную модель, которая перестраивается в зависимости от пожелания конструктора и имеет встроенную защиту от ошибок.

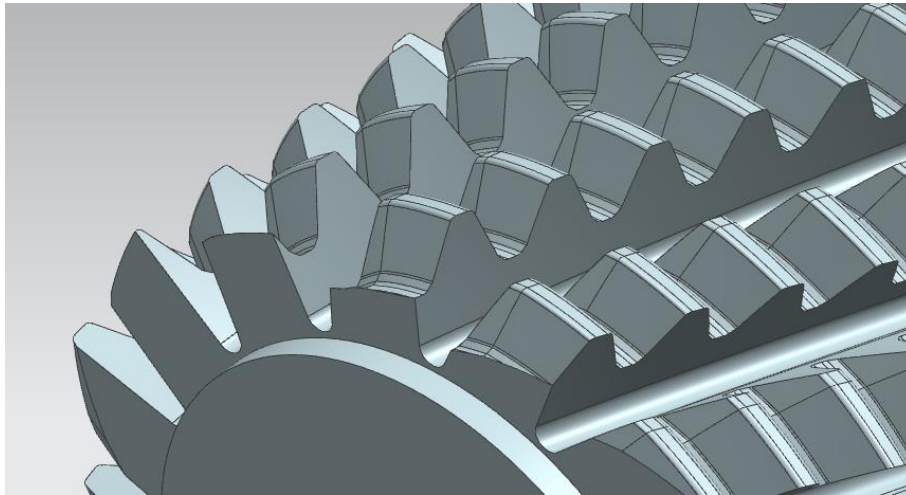


Рис. 1. Трёхмерная модель червячной фрезы

Модель построена на основе конволютного червяка. Направление витков левое, или правое. Фреза может быть 1-, 2-, или 3-заходная. Стружечная канавка винтовая. Если угол наклона винтовой линии не превышает 4 градуса, стружечная канавка может быть плоская осевая. Для удобства работы подготовлен интерфейс изделия, ниже показано, как к нему осуществляется доступ. Интерфейс изделия позволяет, как задавать параметры различными способами, так и отображать расчётные данные.

Для корректного перестроения модели необходимо, чтобы чертежи эскизов не содержали «неименованных» параметров (рис.2.)

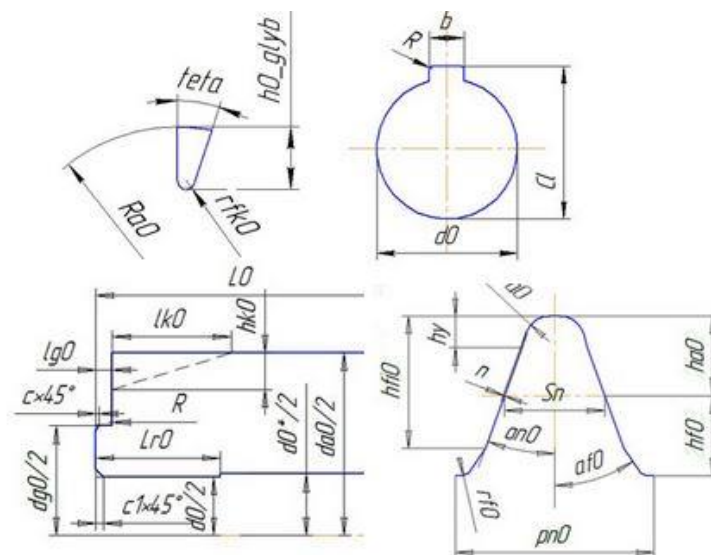


Рис. 2. Параметризованные эскизы для создания червячной фрезы

Создание параметризованной модели обязано иметь связи большинства параметров (рис. 3), в противном случае такая модель не будет иметь существенного практического применения. Учитывая, что в некоторых случаях часть поверхностей может отсутствовать, или наоборот добавляться, как, например, выбор типа шпоночного паза между торцовым и продольным, существует необходимость вводить элементы «подавления по выражению» (рис. 4).

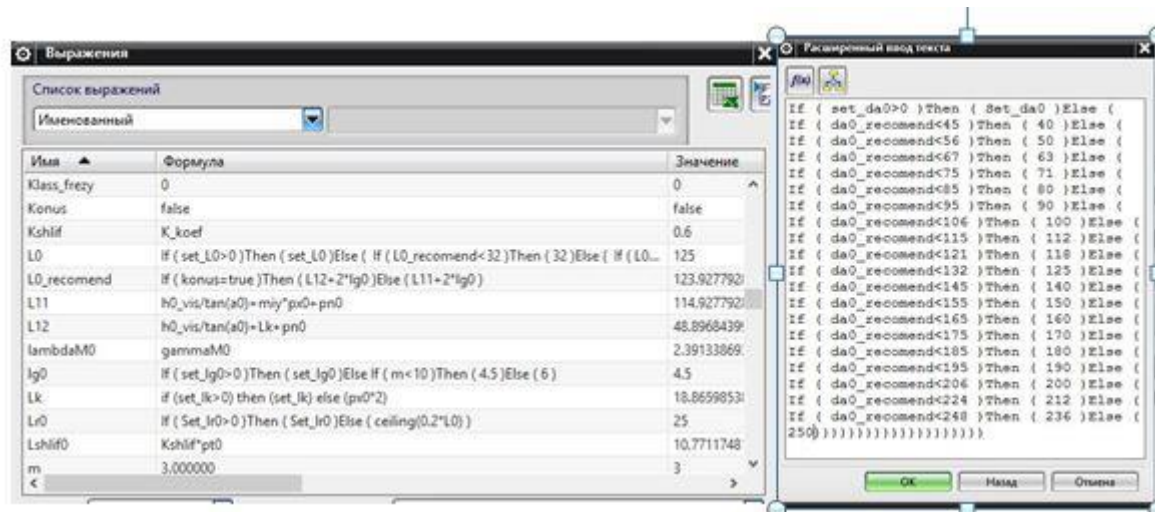


Рис. 3. Задание переменных через формулы и таблично

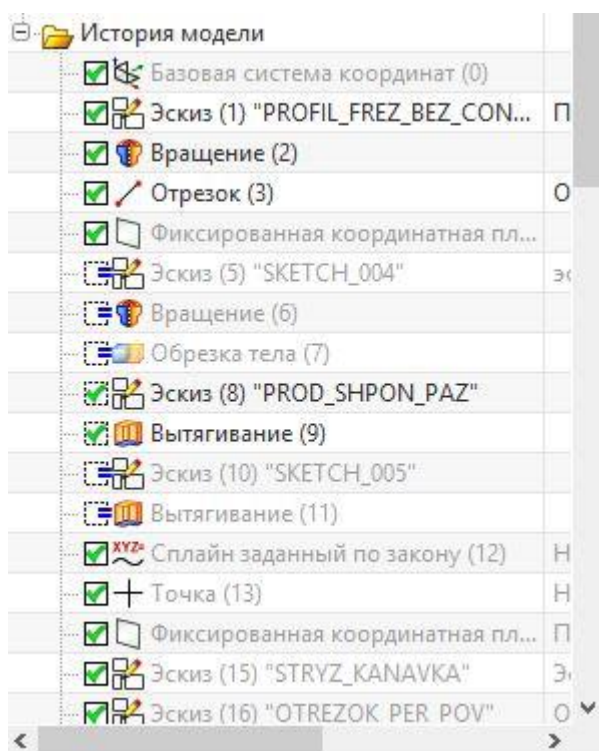


Рис. 4. Задание ограничений на построение элементов по выражению

Особенность построения трёхмерной модели в системе NX - любая операция имеет аппроксимацию расчётной геометрии (рис. 3). Допуск на отрисовку элементов не превышает 0,001 мм для линейных размеров; 0,003 мм для кривых; 0,005 для угловых значений 0,006 мм для линий пересечения поверхностей. В связи с большим пересечением в модели червячной фрезы поверхностей сложной формы, отрисованные линии могут приобрести неожиданные разрывы или петли в модели (рис. 4.) К таким разрывам могут привести некоторые типовые ошибки.

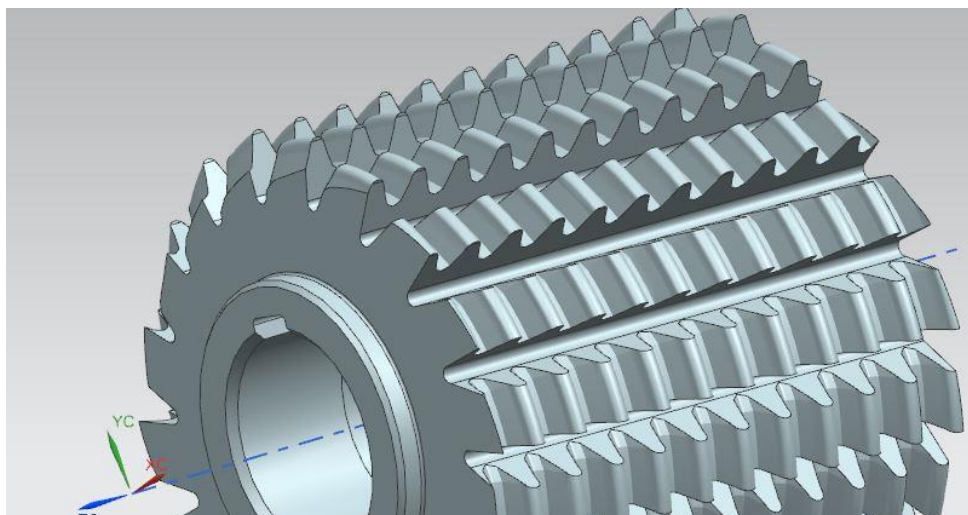


Рис. 4. Неточность построения привела к образованию дополнительной поверхности на вершинах зуба по передней поверхности

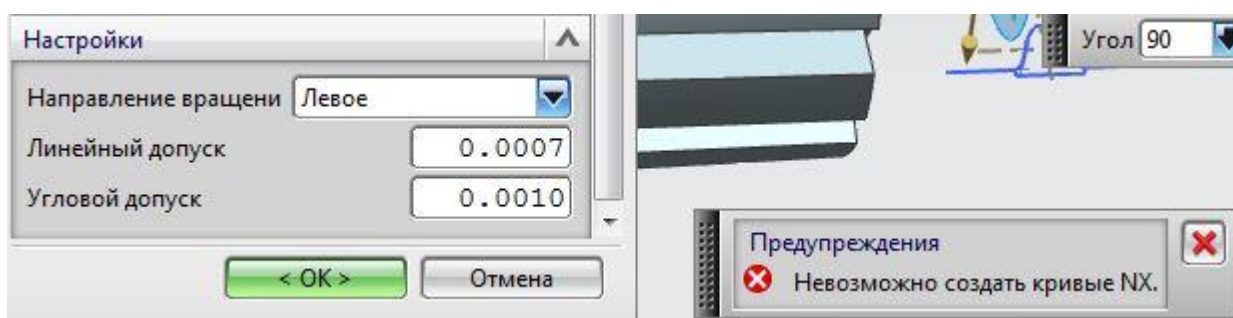


Рис. 5. Окно задания допуска на отрисовывание спирали - повышение точности привело к ошибке «Невозможно создать кривые NX»

Литература

1. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002. – 472 с.

2. ГОСТ 16231-81. Фрезы концевые радиусные с коническим хвостовиком для обработки лёгких сплавов [Текст]. – Введ. 1983-01-01. М.: Ордена «Знак Почёта» Издательство стандартов, 1990 – 78-83 с.

3. ГОСТ 25557-2006 . Конусы инструментальные. Основные размеры [Текст]. – Введ. 2006-06-24. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2007 – 10с.

4. Данилов Ю., Артамонов И. Практическое использование NX – М.: ДМК Пресс, 2011. – 332 с.

Шобаков В.Г.,

д-р техн. наук, профессор,

Панкратов Д.Л.,

д-р техн. наук, профессор,

Андреев А.П.,

канд. техн. наук, доцент,

Утяганов Р.Ф.,

аспирант

Исследование напряженно-деформированного состояния титанового сплава ВТ-8 при многократном выдавливании

Интерес к металлам и сплавам с субмикроструктурной (СМК) или нанокристаллической (НК) структурой обусловлен их уникальными физико-механическими свойствами, существенно отличающимися от свойств материалов с мелкозернистой или крупнозернистой структурой [1].

Одним из методов получения СМК является перспективный способ обработки металлов многократным выдавливанием, технологическая схема которого представлена в работах [2,3].

На рис. 1 схематично приведена последовательность операций, демонстрирующая различные комбинации деформирования при интенсивной пластической деформации (ИПД) выдавливанием.

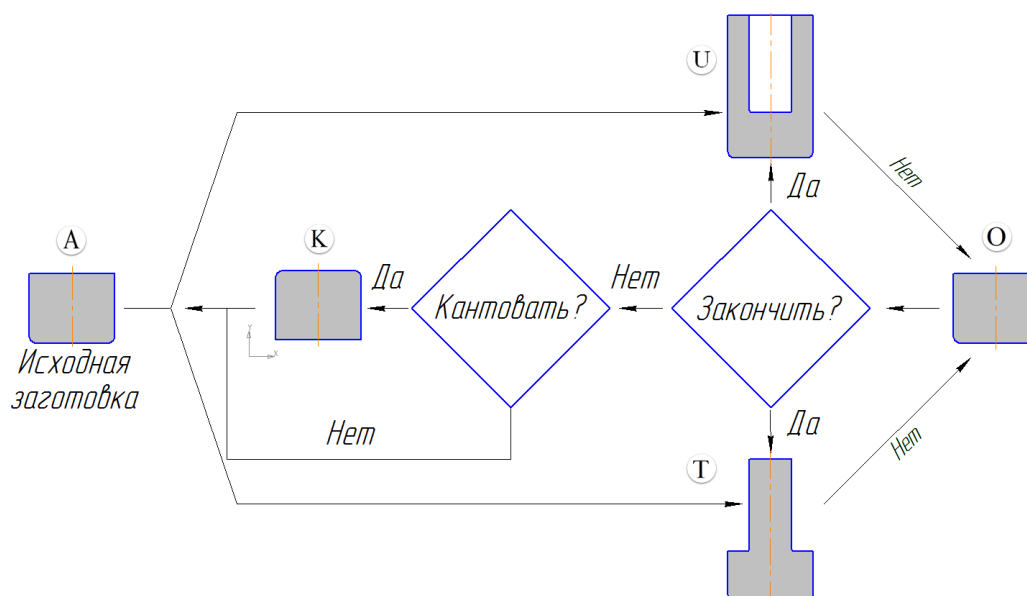


Рис. 1. Варианты деформирования при ИПД многократным выдавливанием:
 А - исходное состояние; U - обратное выдавливание «стакана»; O - образование исходной формы радиальным выдавливанием из «стакана» или радиальным выдавливанием из стержня с утолщением; T - обратное выдавливание стержня с утолщением;
 К – кантовка.

На основе схемы представленной на рисунке 1 сформирован ряд технологически возможных вариантов ИПД многократным выдавливанием:

1. $A+U \rightarrow O_k$
2. $A+T \rightarrow O_k$
3. $A+U+O+T_2 \rightarrow O_k$
4. $A+T+O+U_2 \rightarrow O_k$
5. $A+U+O+K+U_2 \rightarrow O_k$
6. $A+T+O+K+T_2 \rightarrow O_k$
7. $A+U+O+K+T_2 \rightarrow O_k$
8. $A+T+O+K+U_2 \rightarrow O_k$

Для установления влияния способа (варианта) деформирования на напряженно-деформированное состояние (НДС) в заготовках, при выдавливании из различных материалов, и определения рациональных, с точки зрения обеспечения однородности НДС вариантов деформирования проведено имитационное моделирование процесса ИПД выдавливанием в среде QForm 2D.

Моделирование проводилось согласно параметрам представленным в таблице 1.

Исходные параметры моделирования при ИПД выдавливании

№ группы	Материал заготовки	Начальная температура заготовки, С°	Начальная температура инструмента, С°	Смазка	Скорость деформирования, мм/с
1	АД1	20	20	Графит	1
2	ВТ-8	20	20	Минеральное масло+	1
3	ВТ-8	650	650	Графит	1

Результаты имитационного моделирования при различных вариантах выдавливания сведены в таблицы 2 и 3. Таблица сформирована с учетом схем, приведенных на рисунках 1 и 2.

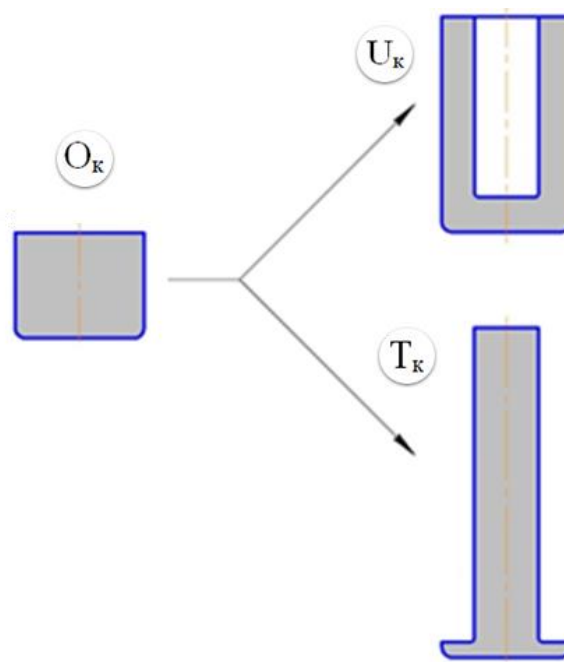


Рис. 2. Схема формирования сводных таблиц результатов (таблица 2 и 3):
 O_k - заготовка с накопленной степенью деформации после реализации одного из вариантов выдавливания; U_k - полуфабрикат типа «стакан»; T_k - полуфабрикат типа «стержень с утолщением»

Для удобства сравнения полученных результатов шкала интенсивности деформации при различных вариантах выдавливания одинаковая и имеет градацию от 0 до 20 (таблица 2, 3, 4).

Таблица 2

Сводная таблица результатов имитационного моделирования по различным вариантам выдавливания для сплава АД1 (группа 1)

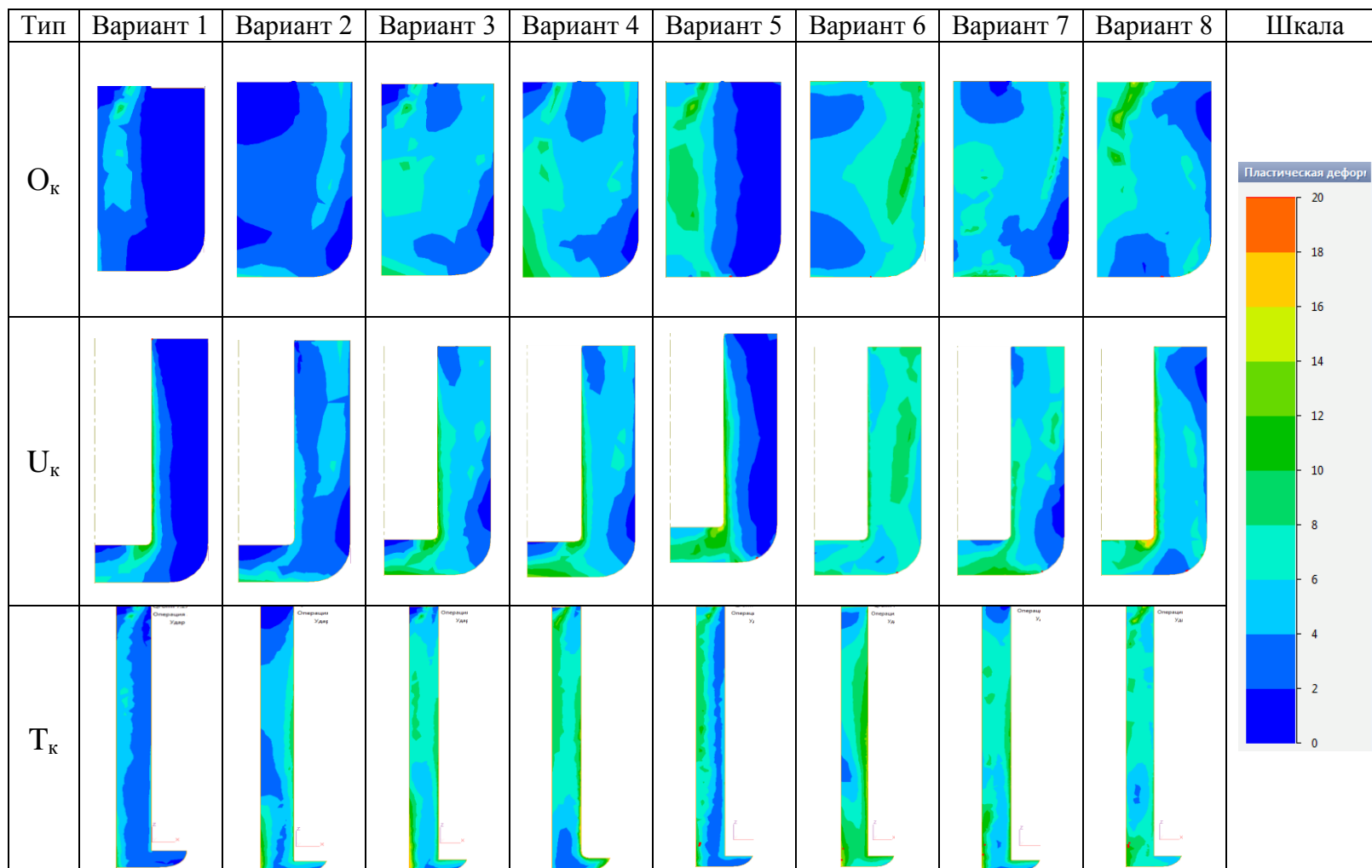


Таблица 3

Сводная таблица результатов имитационного моделирования по различным вариантам выдавливания для сплава ВТ-8 при $T=20C^{\circ}$ (группа 2)

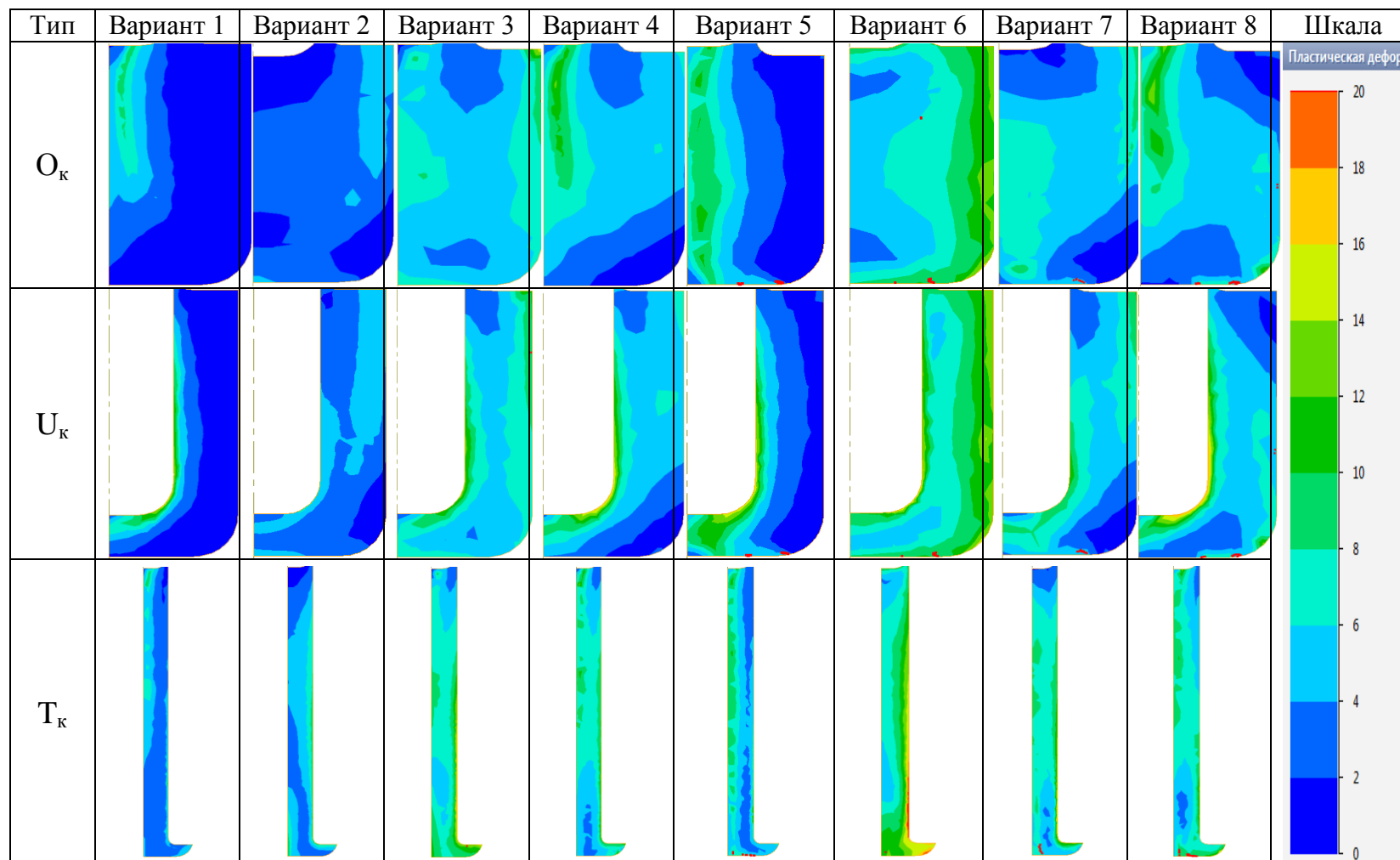
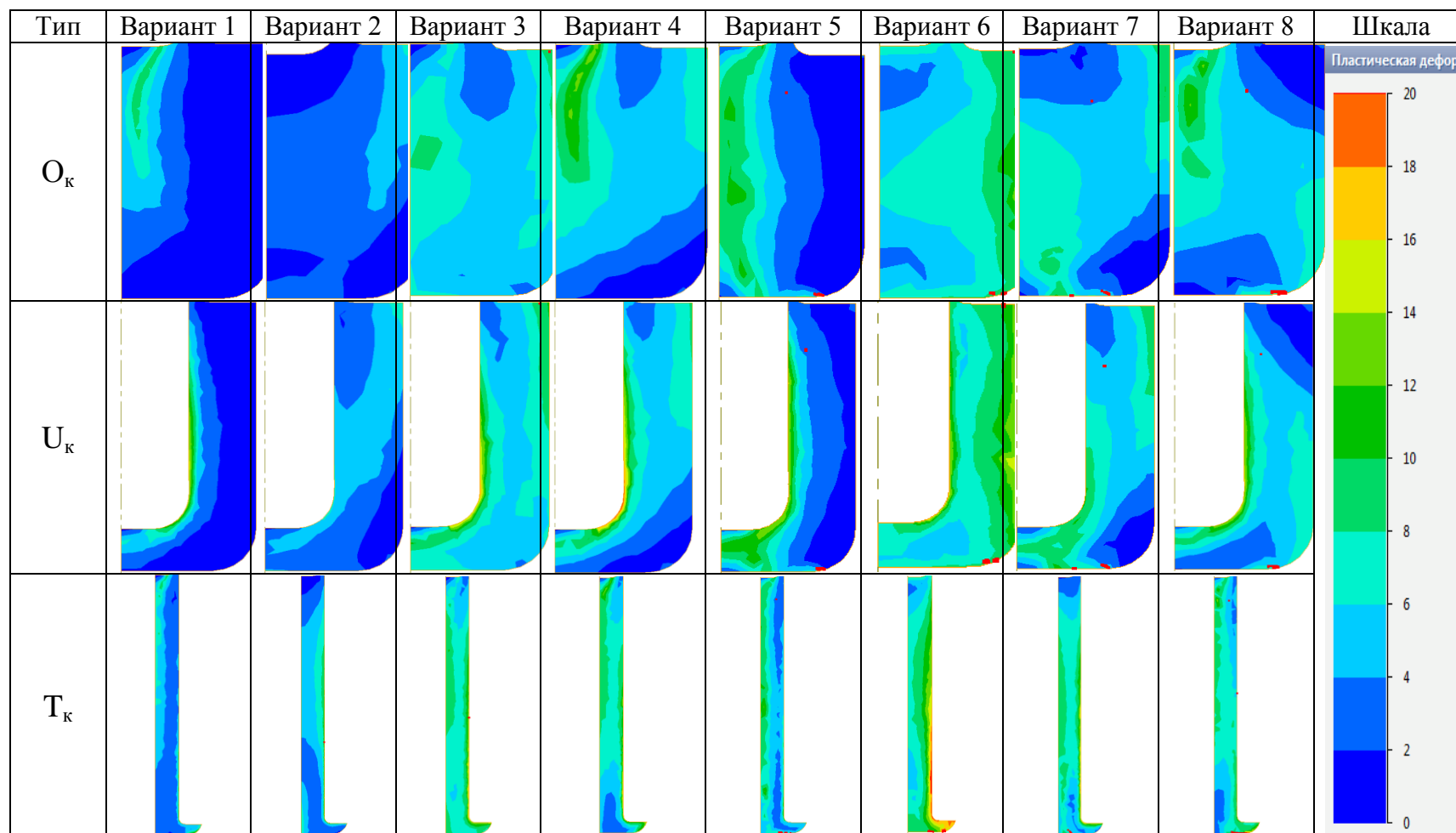


Таблица 4

Сводная таблица результатов имитационного моделирования по различным вариантам выдавливания для сплава ВТ-8 при $T=650^{\circ}\text{C}$ (группа 3)



Результаты имитационного моделирования различных вариантов выдавливания приведенных в таблицах 2, 3, 4 позволяют сделать заключение, что интенсивность деформаций мало зависит от материала заготовки. Незначительные отличия в схеме распределения интенсивности деформации можно связать с различными силами трения при деформировании титана и алюминия.

Основное влияние на интенсивности деформации оказывает вариант деформирования, а именно:

- при радиальном выдавливании из «стакана» (вариант 1) наибольшие деформации наблюдается (рисунок 3 а), в центральной части заготовки, что целесообразно применять для изготовления стержневых деталей с твердой сердцевиной и «мягкой» наружной частью.

- при радиальном выдавливании из стержня с утолщением (вариант 2) наблюдается значительное накопление деформации (рисунок 3 б), по наружной части заготовки, соответственно такая схема деформирования подходит для стержневых деталей с «мягкой» сердцевиной и упрочненной периферийной частью.

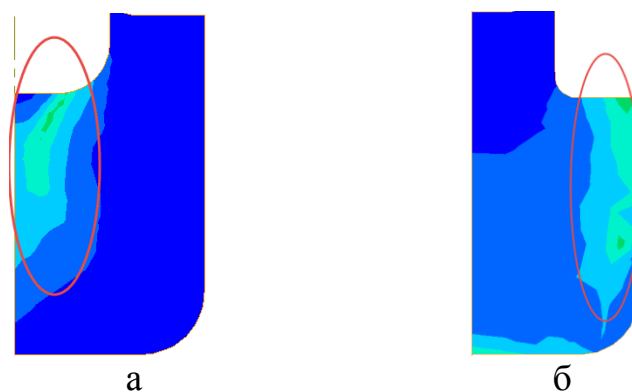


Рис. 3. Очаги накопления деформации:

а – при радиальном выдавливании из «стакана» ($U \rightarrow O$); б - при радиальном выдавливании из стержня с утолщением ($T \rightarrow O$).

Исследование особенностей изменения деформированного состояния проведено моделированием ИПД по варианту №6 с использованием лагранжевых линий и трассируемых точек (рисунок 4). Трассируемыми точками 1, 2, 3, 4 выделена элементарная ячейка, эволюция формы которой, в процессе ИПД многократным выдавливанием представлена на рисунке 5. Вариант №6 выбран как обеспечивающий наиболее однородное деформированное состояние.

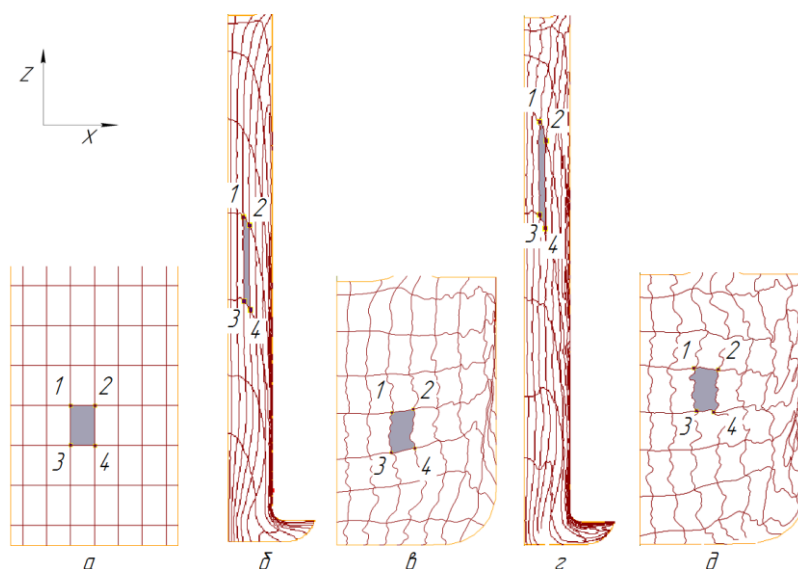


Рис. 4. Схема деформирования согласно варианту №6:

1,2,3,4 – трассируемые точки; а – исходное состояние лагранжевой сетки; б – растяжение ячейки лагранжевой сетки в направлении оси Z; в – восстановление исходной формы ячейки; г - растяжение ячейки лагранжевой сетки в направлении оси Z; д – восстановление исходной формы ячейки

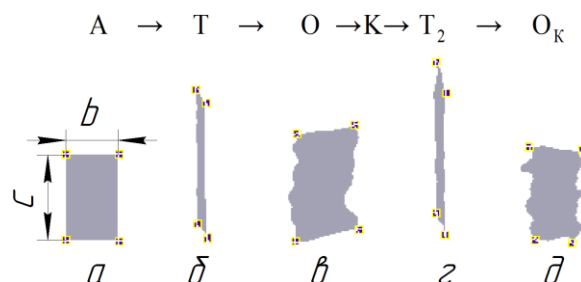


Рис. 5. Эволюция формы элементарной ячейки при ИПД многократным выдавливанием по варианту №6

При схеме деформирования $A+T_1+O_1+K+T_2 \rightarrow O_2$ видно, что ячейки стержневой части заготовки при переходе $A \rightarrow T$ испытывает растяжение (расстояние между точками 1, 4 увеличилось на $4,1c$, а между точками 1, 2 стало $0,5b$). При деформировании по схеме $T_1 \rightarrow O_2$ ячейки стержневой части заготовки претерпевает сжатие (расстояние между точками 1,4 становится c , между точками 1,2 становится b). Таким образом, при ИПД многократным выдавливанием элементы заготовки испытывают знакопеременные деформации растяжения-сжатие-растяжение и т.д.

При таком характере деформирования обычно проявляется эффект Баушингера (ЭБ), в классическом виде заключающийся в уменьшении сопротивления материала пластическим деформациям после предварительной пластической деформации противоположного знака [4].

ЭБ отражает комбинированное влияние деформационных процессов разупрочнения и упрочнения металлов и сплавов при растяжении-сжатии-растяжении. Преимущественный вклад одного из этих процессов опреде-

ляет итоговый ЭБ и его знак. В работе [5] установлено, что величина и знак ЭБ зависит отряда факторов: типа кристаллической решетки, размера зерна, уровня внутренних напряжений, степени предварительной деформации, времени релаксации напряжений. Целенаправленным выбором этих факторов можно управлять проявлением ЭБ в технологических процессах ИПД, в частности при многократном выдавливании

Для выявления особенностей кривых упрочнения при знакопеременном деформировании по известным данным, была построена диаграмма упрочнения для сплава АД 1.

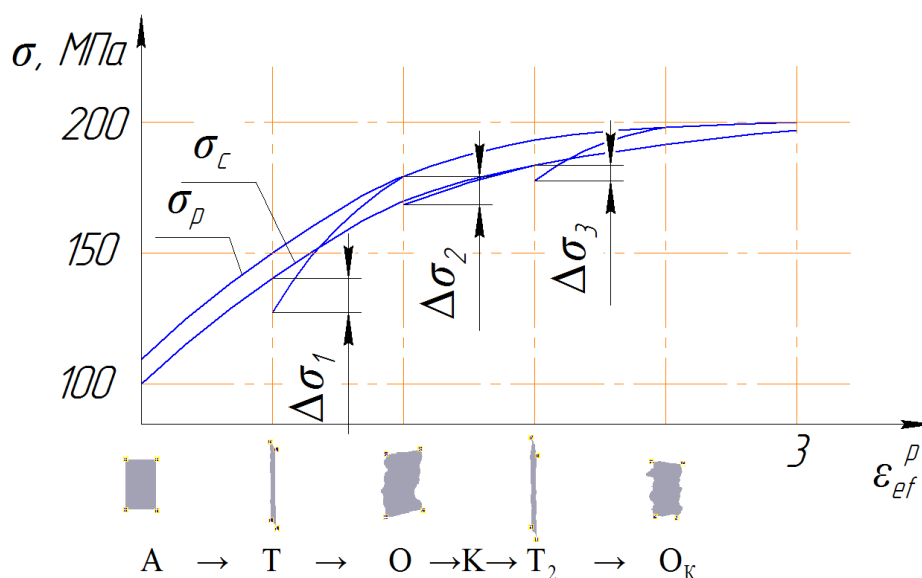


Рис. 6. Диаграмма упрочнения для сплава АД1:

σ_p – сопротивление растяжения; σ_c – сопротивление сжатия; $\Delta\sigma$ – снижение сопротивления после смены знака после разгрузки деформированного знака.

Для исследования влияния ЭБ при многократном влиянии необходимо проведение натуральных экспериментов на растяжение-сжатие по известным методикам [7,8].

Выводы:

1. Установлено влияние различных вариантов выдавливания на НДС для различных материалов (ВТ-8, АД-1) при разных температурах.
2. Определены очаги деформации при многократном выдавливании.
3. Определены особенности НДС при многократном выдавливании, а именно заготовка испытывает знакопеременные деформации растяжение-сжатие-растяжение и т.д.

Литература

1. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. М, Металлургия, 1979, 495с.
2. Andreev, A.P., Shibakov, V.G., Pankratov, D.L., Andreeva, S.I. Predic-

tion of samples failure during severe plastic deformation by multiple extrusion - IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 86, Number 1, 2015, pp.12032-12036(5).

3. Патент №2189883 РФ, МКИ 7 В 21 J 5/00, 13/02, С 21 D 7/02. Способ пластического структурообразования металлов при интенсивной пластической деформации и устройство для его осуществления.

4. Золотаревский В.С. - В кн. Механические испытания и свойства металлов, М.: изд. Металлургия, 1974, с.33–42.

5. В.В. Столяров – Эффект Баушингера в ультрамелкозернистых металлах // Вестник научно-технического развития №3, 2009г.

6. Рыбин В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. - М.: Металлургия, 1986. - 226 с.

7. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение.

8. ГОСТ 25.503-97. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов.

Шутова Л.А.,
ст. преподаватель

Анализ параметров технологического процесса глубокой вытяжки деталей сложной формы с применением эластичной среды

В работах [3, 4] приведены примеры использования эластичной среды для глубокой вытяжки деталей сложной формы. Сущность процесса состоит в следующем. Плоская листовая заготовка расположена между прижимом, эластичной матрицей и пуансоном, наружные контуры которого соответствуют внутренним обводам штампуемой детали. Создаваемое при этом давление со стороны матрицы при одновременном ее перемещении и взаимном перемещении прижима относительно пуансона заставляет фланец заготовки тангенциально деформироваться и облегать поверхность пуансона.

Отличительной особенностью процесса является необходимость поддержания со стороны матрицы определенного давления в процессе вытяжки. Для обеспечения наиболее благоприятного протекания процесса давление должно плавно возрастать по ходу вытяжки в пределах от 0 до 80-120 МПа при штамповке деталей из сталей [1].

Процессу вытяжки эластичной матрицей свойственны положительные особенности, которых нет у обычного процесса вытяжки в металлических штампах:

1. Наличие полезных сил трения между пуансоном и заготовкой, возникающих в результате прижатия заготовки к пуансону давлением со стороны матрицы.

2. Отсутствие вредного трения между заготовкой и матрицей.

3. Равномерное давление со стороны матрицы по всей поверхности заготовки.

4. Хорошее удерживание заготовки от возможного смещения ее относительно пуансона, особенно при штамповке деталей из несимметричной заготовки.

5. Точность размеров штампуемых деталей и высокое качество их поверхности.

Недостатком процесса вытяжки эластичной матрицей, в некоторой степени ограничивающим его применение, является необходимость создания высоких удельных давлений (для предотвращения потери устойчивости), а также необходимость регулирования этого давления в процессе штамповки-вытяжки по ходу пуансона.

Заготовка в процессе ее формообразования в полое чашеобразное тело находится в сложном напряженном состоянии. При глубокой вытяжке эластичной матрицей по жесткому пуансону во всех участках заготовки добавляется компонент сжимающих напряжений, действующих в нормальной к поверхности заготовки плоскости, σ_3 (рис. 1).

Рассмотрим напряженное состояние заготовки, контур которой можно условно разделить на участки, имеющие разные механические схемы напряжений и деформаций (рис. 1).

Так, фланец заготовки находится в условиях объемного напряженного состояния, при котором один из компонентов главных напряжений является растягивающим (σ_1), а два других - сжимающими (σ_2 и σ_3).

Участок, соответствующий сбегу фланца заготовки на боковую часть штампуемого изделия, подвержен действию тангенциальных сжимающих напряжений и радиально направленных растягивающих напряжений.

Компоненты главных деформаций боковой и донной частей заготовки одинаковы и равны нулю. Это объясняется благоприятным влиянием сил трения, действующих по поверхностям контакта заготовки и пуансона в результате интенсивного прижатия стенки штампуемой детали к пуансону.

Полезные напряжения трения τ в процессе вытяжки достигают величин, достаточных для того, чтобы заблокировать соприкасающиеся с пуансоном участки заготовки, разгрузить их от действия радиальных напряжений, и распределить напряжения по участкам заготовки, более близким к фланцу и имеющим более высокую степень упрочнения.

Величина этой силы, отнесенная к единице длины части штампуемой детали может быть определена по формуле [1]:

$$\tau = 2 \times \pi \times R_{\Pi} \times \mu \times q_{\text{м}}. \quad (1)$$

Значительные силы трения по поверхностям контакта заготовки и пуансона выгодно отличают процесс вытяжки от других процессов и способствуют увеличению его технологических возможностей. Именно этим можно объяснить то, что разрыв заготовки при коэффициентах вытяжки, близких к предельным, происходит не вблизи дна, а в сечении, расположенном близко к фланцу штампуемой детали.

Таким образом, потеря устойчивости стенкой заготовки может произойти на фланцевой части и на радиусных участках сопряжения фланца с боковой стенкой детали. Проанализируем напряженно деформированное состояние на данном участке (рис. 2).

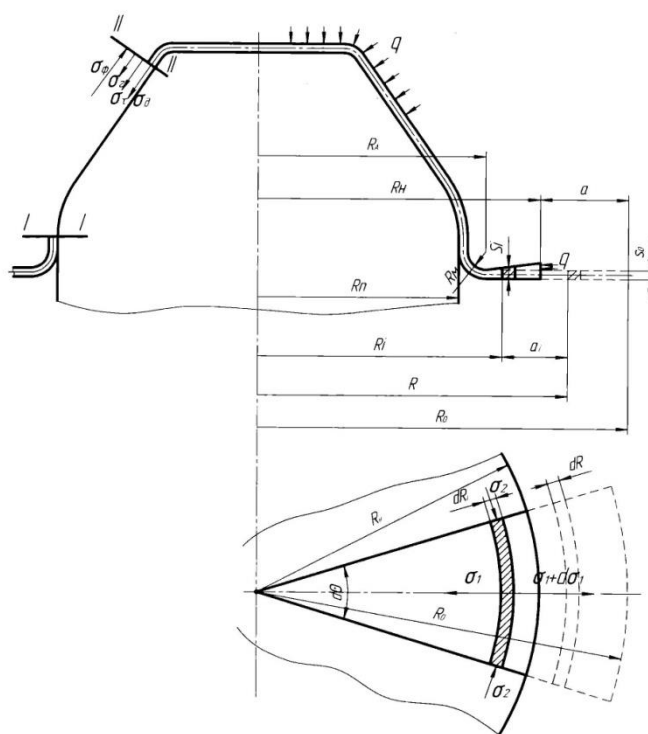


Рис. 1. Схема напряжённого состояния на фланце заготовки обгонной чашки, при вытяжке эластичной матрицей опасное сечение I-I, при вытяжке в инструментальном штампе II-II.

Условие штамповки-вытяжки можно представить следующим выражением:

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{P_q}{\pi \times (d_n + s_0) \times s_0} \leq \sigma_i = A \times \varepsilon_i^\alpha; \quad (2)$$

при этом

$$\sigma_{ш} = \sigma_{д} + \sigma_{г} + \sigma_{т} - \sigma_{ф}, \quad (3)$$

где $\sigma_{ш}$ - напряжение штамповки в опасном сечении детали;

$\sigma_{д}$ - компонент напряжения в опасном сечении от объемно-пластического деформирования фланца;

$\sigma_{г}$ - компонент напряжения от изгиба по условному радиусу $гм$;

$\sigma_{т}$ - компонент напряжения от сопротивления трению фланца заготовки о прижим;

$\sigma_{ф}$ - напряжение, вызываемое действием давления со стороны матрицы на торцовую часть фланца заготовки;

P_q - суммарное усилие, преодолеваемое пуансоном от давления на торцевидную часть заготовки.

Все перечисленные компоненты напряжений определяются по известным методикам, приведенным в литературе [1, 2].

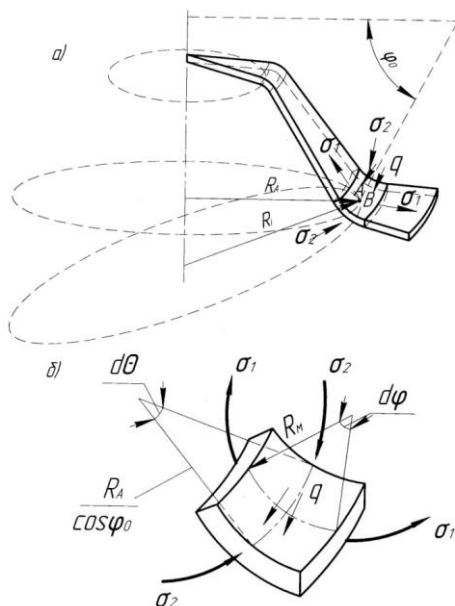


Рис. 2. Напряженное состояние (НС) на участке сопряжения фланца и стенки штампуемой заготовки обгонной чашки при вытяжке эластичной матрицей по жесткому пуансону с прижимом:

а-НС сегмента заготовки, выделенного на ее тороидальной поверхности, б - НС элемента тороидальной поверхности в системе координат, связанной с направлением главных радиусов кривизны

При приближенных расчетах (с достаточной для практики точностью) наибольшие необходимые давления для вытяжки цилиндрических деталей могут быть определены по упрощенной формуле [1]:

$$q_{\max} = \frac{\sigma_s \times (R_n + s_0) \times s_0}{R_m \times (R_n + s_0 + 0,5 \times R_m)}, \quad (4)$$

где S_0 - толщина листового материала, мм;

σ_s - предел прочности материала заготовки, МПа;

R_n - радиус вытяжного инструмента (пуансона), мм;

R_m - условный радиус матрицы, следует принимать в 6-8 раз больше толщины исходной заготовки s_0 , мм.

Приведем форму детали «Обгонная чашка» (рисунок 1) переменного поперечного сечения к правильной цилиндрической форме (рисунок 3). Тогда диаметр приведенной детали: $d_d = 170$ мм.

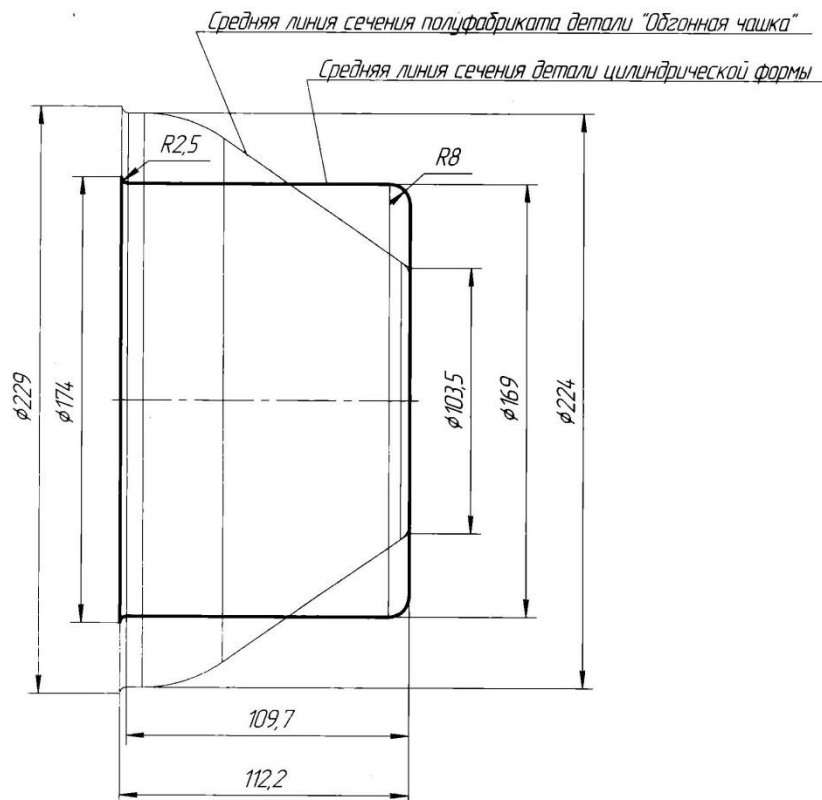


Рис. 3. Приведение сложной формы полуфабриката к цилиндрической форме

Используя функцию измерения площади поверхностей в программе КОМПАС-3D, была определена суммарная площадь поверхности детали «Обгонная чашка», которая составила 100608,74 мм².

Т. к. форма исходной заготовки - круг, то площадь заготовки равна:

$$S = \frac{\pi \times D_3^2}{4} = \pi \times R_3^2, \quad (5)$$

Следовательно, радиус заготовки:

$$R_3 = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 179,0 \text{ мм.}$$

$$D_3 = 2 \times R_3 = 2 \times 179,0 = 358,0 \text{ мм.}$$

Высота детали: $h_d = 110$ мм.

Высота полуфабриката: $h_b = 113,2$ мм.

Ход матрицы: $h_m = 112,2$ мм.

Приведенный коэффициент вытяжки:

$$K = D_3/d_d < K_{пр}$$

$K = 358/170 = 2,106$, что меньше чем предельное значение коэффициента вытяжки равно $K_{пр} = 2,40$ [1, табл. 24].

В результате анализа напряженно деформированного состояния на участках непосредственного формоизменения было определено, что общее давление, прикладываемое со стороны эластичной матрицы при штамповке-вытяжке может быть представлено в виде суммы давлений для деформирования фланца и торовидного участка заготовки.

При приближенных расчетах (с достаточной для практики точностью) давление, необходимое для осуществления операции вытяжки могут быть определены по упрощенной формуле (4). При значениях

$$\sigma_b = 330 \text{ МПа; } R_{\text{пmax}} = 111,5 \text{ мм; } R_m = 7 \text{ мм}$$

$$q_{\text{max}} = \frac{330 \times (111,5 + 1,0) \times 1,0}{7,0 \times (111,5 + 1,0 + 0,5 \times 7,0)} = 45,72 \text{ МПа.}$$

Следовательно, наибольшее давление со стороны эластичной матрицы необходимое для осуществления вытяжки обгонной чашки составляет 45,72 МПа.

Таким образом, удельные давления в начальный момент вытяжки составляют 5 МПа с плавным возрастанием по ходу вытяжки до 45,72 МПа, т.е. диапазон давлений со стороны эластичной среды составляет 5 - 45,72 МПа, что не превышает предельно допустимых давлений для стали 80-120 Мпа.

Приведенные расчеты подтверждают, что использование эластичных сред для глубокой вытяжки снижает усилие деформирования и следовательно удельные давления на рабочие части штампа.

Analysis of process parameters deep-drawn parts of complex shape with an elastic medium

Abstract

Describes a method of separating operations of sheet metal with polyurethane matrix.

Key words: sheet-metal stamping, stamp, small production runs, tooling.

Литература

1. Исаченков Е. И. Штамповка резиной и жидкостью. - М.: МАШГИЗ, 1962. -330 с.

2. Ковка и штамповка: Справочник: В 4-х т. Т. 4. Листовая штамповка / Под ред. А.Д. Матвеева; Ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 1985-1987. -544 с.

3. Крюков А.Е., Шутов А.А. Штамповка изделий из листового металла с использованием эластичной среды в условиях мелкосерийного производства. Проектирование и исследование технических систем: межвузовский научный сборник. Выпуск № 2(16). Набережные Челны: Изд-во Кам. гос. инж.-экон. акад. 2010. с.77-79.

4. Крюков А.Е., Шутов А.А., Шутова Л.А. Использование безматричной листовой штамповки в мелкосерийном производстве. Итоговая научная конференция: (2015; Набережные Челны). В 3-х ч. Часть 1. Итоговая науч. конф. проф.-препод, состава, 5 февраля 2015. с.49-53.

СЕКЦИЯ «ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»

Ахметов Н.Д.,
канд. техн. наук, доцент,
Гимадеев М.М.,
канд. техн. наук, доцент,
Кривошеев В.А.,
канд. техн. наук, доцент

Моделирование в среде NX процесса ударного обжатия изношенной гильзы цилиндров ДВС

Ремонтопригодность деталей автотракторного парка становится достаточно актуальной задачей, особенно в период экономического кризиса и различных санкций. Одним из проблемных деталей двигателя является гильза цилиндров, так как в настоящее время эта деталь практически не ремонтируется, хотя известны достаточно много способов ее ремонта. Так, к примеру, АО Ремдизель при пропускной способности ремонта 10000 двигателей в год гильзу не ремонтирует, а это около 80000 деталей.

Растачивание под ремонтный размер не получило широкого применения ввиду необходимости производства ремонтных поршней, что увеличивает номенклатуру изделий. На данном этапе все большее применение находит метод обжатия гильзы под номинальный размер.

Большое распространение получило высокоскоростное деформирование с использованием импульсных нагрузок, создаваемых при взрывном выделении энергии, благодаря преимуществам перед обычными так называемыми статическими методами обработки. Высокоскоростное деформирование металлов характеризуется рядом особенностей по сравнению со статическими методами обработки материалов и в первую очередь на микроструктурном уровне. Импульсные методы обработки основаны на возбуждении высокоинтенсивных упруго-пластических волн в обрабатываемом материале. В поле упругих волн, возникающих при ударном нагружении электрогидравлического эффекта, состояние металла значительно отличается от состояния при действии статических нагрузок.

Для металлов около 95 % совершаемой пластической работы превращается в теплоту и только около 5 % накапливается в материале в виде дополнительно возникающих дислокаций и других дефектов. В работах [1, 2] приводится достаточно полная трактовка теории пластического течения под действием ударных сил. Следует лишь добавить, что упругие дефор-

магии, возникающие при очень высоких скоростях удара, становятся столь большими, что закон Гука становится неприменимым и связь между напряжениями и деформациями становится нелинейной. Для волн сжатия это ведёт к разрывным градиентам деформации на фронте распространяющейся волны, т.е. к ударным волнам. Эти особенности процесса гидродимпульсного деформирования также необходимо учитывать при исследовании процессов высокоскоростного деформирования и разработке соответствующих технологических процессов.

Авторами данной работы получен патент на устройство для восстановления гильзы цилиндров с помощью электрогидравлического удара [3]. Для определения параметров рабочей среды, необходимых для обжатия гильзы до номинального размера, проводится моделирование процесса ударного обжатия в среде NX.

При моделировании процесса обжатия рассматривается осесимметричное нагружение верхней части гильзы цилиндров. При этом для сравнения используется два вида решателя: линейный статический анализ (SOL 101), нелинейный динамический анализ (SOL 701). Результат деформации гильзы показан на рисунке.

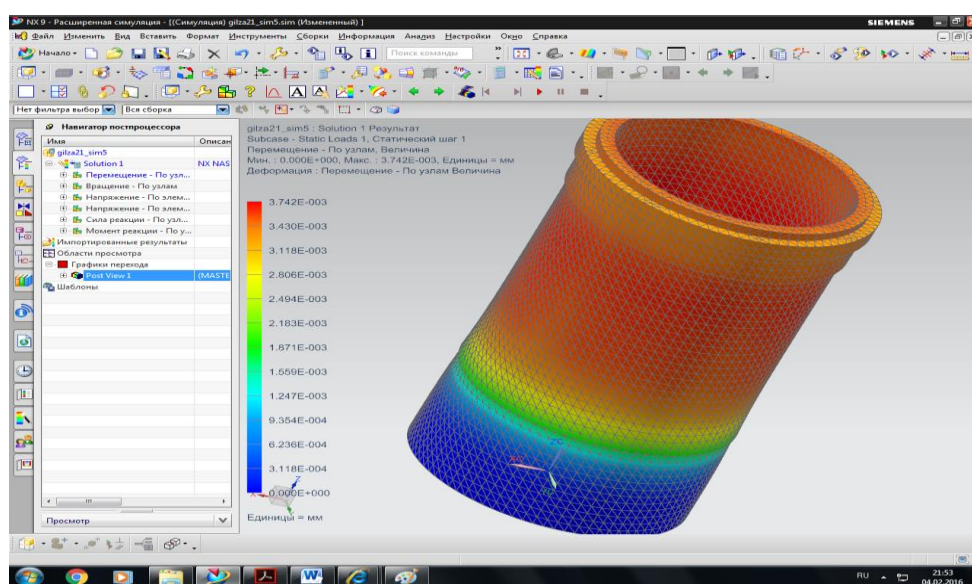


Рис. Результаты расчета деформации верхней части гильзы цилиндров

Литература

1. Гилман Дж. Физическая природа пластического течения и разрушения // Механика. Сб. пер. 1962. №5.

2. Лысов М.И., Закиров И.М. Пластическое формообразование тонкостенных деталей авиатехники. М.: Машиностроение, 1983. 176 с.

3. Патент РФ 2013104606/02; 04.02.2013. Ахметов М.Н., Ахметов Н.Д., Гимадеев М.М., Кривошеев В.А., Друлис В.Н., Рзаева Т.В. Способ восстановления внутреннего диаметра гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания и устройство для его осуществления // Патент России №2544223. 2015. Бюл. №7.

Барыкин А.Ю.,
канд. техн. наук, доцент

Влияние конструктивных особенностей и условий эксплуатации деталей на долговечность и ремонтпригодность дифференциалов малого трения

Симметричный конический дифференциал чаще всего применяется в приводе колёс или мостов автомобиля. При малых передаваемых моментах конструкция состоит из неразъёмного картера, двух сателлитов на одной оси, полуосевых шестерён. Малое трение обеспечивается антифрикционными (иначе – опорными) шайбами.

Повышение нагрузочной способности дифференциалов, распределяющих значительные крутящие моменты, достигается применением четырёх (иногда – трёх) сателлитов, размещаемых в картере, разъёмном в плоскости крестовины.

Несмотря на применение опорных антифрикционных шайб, разность крутящих моментов на полуосях может достигать 3...7 % [1, с. 180]. Причиной являются потери на трение скольжения. Ограничение потерь может быть в известной степени достигнуто путем рационального выбора материалов антифрикционных втулок и колец в узлах трения «сателлит – ось (шип крестовины)» и «сателлит - корпус дифференциала».

Антифрикционные кольца сателлитов, в отличие от аналогичных плоских колец полуосевых шестерён, имеют сферическую или коническую форму по технологическим причинам.

Основными неисправностями дифференциалов являются:

1) Акустические и вибрационные колебания вследствие недостаточных усилий затяжки, износа и люфта деталей.

2) Повышенная рабочая температура деталей вследствие неудовлетворительной смазки и возникновения полусухого трения.

3) Нарушение зацепления в парах «сателлит – полуосевая шестерня» вследствие износа оси (крестовины) и антифрикционных колец.

4) Утечка трансмиссионного масла вследствие износа уплотнений и прокладок.

При расчёте на прочность дифференциала находят нагрузки на зубья шестерён, на ось (крестовину) и нагрузки на картер. Ось или шип крестовины рассчитывают на срез и смятие в опасных сечениях, картер проверяют на смятие в зоне контакта с сателлитом. Напряжение смятия корпуса дифференциала определяется давлением торца сателлита на площади контакта [2, с. 163]:

$$\sigma_{см} = \frac{P_{xc}}{S},$$

где

$$P_{xc} = P_{сам} \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{\omega}) \cdot \operatorname{Sin}(\delta_{сам}),$$

$$P_{сам} = \frac{M_{e \max} \cdot u_{КПП} \cdot u_{ГП}}{r_1 \cdot n_{сам}},$$

$$\delta_{сам} = \operatorname{arctg}(z_c / z_n).$$

P_{xc} - сила, действующая в контакте торца сателлита с корпусом дифференциала;

$P_{сам}$ - сила, действующая на сателлит;

α_{ω} - угол зацепления,

$\delta_{сам}$ - половина угла делительного конуса сателлита;

$M_{e \max}$ - максимальный крутящий момент двигателя;

$u_{КПП}$ - передаточное число коробки передач на первой передаче;

$u_{ГП}$ - передаточное число главной передачи;

r_1 - радиус действия силы;

$n_{сам}$ - число сателлитов;

z_c - число зубьев сателлита;

z_n - число зубьев полуосевой шестерни.

Площадь контакта сателлита и корпуса дифференциала задаётся формой поверхностей, усечённого конуса и шарового слоя соответственно [3, с. 126, 128]:

$$S_{кон} = \pi \cdot (r_1 + r_2) \cdot l,$$
$$S_{шс} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h + \pi \cdot (r_1^2 + r_2^2)$$

Однако использование входящих в формулы площади параметров вызывает затруднения по технологическим причинам. Произведём преобразования вида:

$$h = l_{cam} - b_{cam} \cdot \text{Cos}(\delta / 2),$$

$$l = \frac{r_3 - r_4}{\text{Cos}(\delta / 2)},$$

$$R = L_{об},$$

$$r_3 = \frac{d_{омв}}{2},$$

$$r_4 = \frac{d_{ак}}{2},$$

где l_{cam} - длина ступицы сателлита;

b_{cam} - ширина зуба сателлита;

$L_{об}$ - длина образующей конуса сателлита;

$d_{омв}$ - диаметр отверстия ступицы сателлита;

$d_{ак}$ - внешний диаметр антифрикционного кольца.

В результате преобразований получаем выражения для площади контакта в обоих случаях:

$$S_{кон} = \frac{\pi}{4} \cdot (r_3^2 - r_4^2) \cdot \text{Cos}(\delta / 2) = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{омв}^2 - d_{ак}^2) \cdot \text{Cos}(\delta / 2),$$

$$S_{ис} = 2 \cdot \pi \cdot L_{об} \cdot (l_{cam} - b_{cam} \cdot \text{Cos}(\delta / 2)) + \frac{\pi}{4} \cdot (d_{омв}^2 + d_{ак}^2)$$

Напряжение смятия для двух вариантов конструкции определяется в виде:

$$\sigma_{см} = \frac{P_{cam} \cdot \text{tg}(\alpha_{\omega}) \cdot \text{tg}(\delta_{cam})}{\frac{\pi}{4} \cdot (d_{омв}^2 - d_{ак}^2)},$$

$$\sigma_{см} = \frac{P_{cam} \cdot \text{tg}(\alpha_{\omega}) \cdot \text{Sin}(\delta_{cam})}{2 \cdot \pi \cdot L_{об} \cdot (l_{cam} - b_{cam} \cdot \text{Cos}(\delta_{cam})) + \frac{\pi}{4} \cdot (d_{омв}^2 + d_{ак}^2)}$$

Применение полученных формул позволяет повысить точность расчётов дифференциалов малого трения и осуществить рациональный выбор конструкции сателлита и опорного кольца.

Факторы, определяющие эффективность применения данных конструктивных вариантов дифференциала малого трения, можно свести к следующим:

1. Коэффициент трения рабочих поверхностей пар трения скольжения, зависящий от материала и условий нагружения;
2. Степень равномерности распределения нагрузки по поверхности антифрикционных колец;
3. Условия смазки поверхностей трения колец, в том числе при износе и применении масляных канавок;
4. Технологичность конструкции и стоимость колец разного типа (с учётом формы поверхности, материалов пар трения).

Задачей дальнейшего исследования условий нагружения и выбора рациональной конструкции дифференциала малого трения представляется анализ изложенных выше факторов на основе эксплуатационных данных о неисправностях и отказах в различных условиях, в том числе для разных материалов антифрикционных колец и втулок, типов трансмиссионных масел, преобладающих режимов нагружения.

Литература

1. Гусаков Н.В., Зверев И.Н. и др. Конструкция автомобиля. Шасси. – М.: МАМИ, 2000. – 528 с.
2. Осепчугов В.В., Фрумкин А.К. Автомобиль: Анализ конструкций, элементы расчета: Учебн. для студ. вузов по спец. "Автомобили и автомобильное хозяйство". - М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.: ил.
3. Аленицын А.Г., Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Краткий физико-математический справочник. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 368 с.

Барыльникова Е.П.,
канд. техн. наук, доцент

Детерминированный факторный анализ производительности грузового автомобиля

Для повышения эффективности использования подвижного состава (ПС) выполняют сопоставительные расчеты плановых и фактических (от-

четных) показателей для заданных условий перевозок на основе оценки влияния технико-эксплуатационных показателей на производительность грузового автомобиля.

Анализ формул [2, с. 101-104] показывает, что величина производительности грузового автомобиля характеризуется показателями-факторами двух видов:

– показателями, зависящих от конструкции ПС: номинальная грузоподъемность (q_n) автомобиля, коэффициент использования грузоподъемности (γ); средняя техническая скорость (v_T), время выполнения погрузочно-разгрузочных работ ($t_{п-р}$);

– показателями, зависящих от условий работы ПС на маршруте: длина ездки с грузом ($l_{гр}$), коэффициент использования пробега (β), время в наряде (T_n), коэффициент выпуска (α_B).

В зависимости от поставленной задачи сопоставление и сравнение производительности подвижного состава следует проводить, если в одинаковых условиях эксплуатации, то величины показателей $\{l_{гр}, \beta, T_n, \alpha_B\}$ в расчетах принимаются одинаковыми. И наоборот, при изменении условий эксплуатации, параметры $\{q_n, \gamma, v_T, t_{п-р}\}$ принимаются в значениях, определяемых конструктивными особенностями ПС, т.е. отдельно для каждого транспортного средства, исходя из типичных условий эксплуатации.

Согласно теории детерминированного факторного анализа [1, с. 33] в общем виде детерминированную модель производительности грузового автомобиля можно представить в виде функции результирующих переменных технико-эксплуатационных показателей

$$y = f(q_n, \gamma, v_T, t_{п-р}, l_{гр}, \beta, T_n, \alpha_B). \quad (1)$$

Для анализа можно использовать различные способы [1, с. 26] детерминированного факторного анализа. Наиболее часто применяется способ цепных подстановок, суть которого заключается в определении ряда промежуточных значений результирующего показателя путем замены базисных значений на отчетные. Разность промежуточных значений равна изменению результирующего показателя за счет заменяемого фактора. В формализованном виде алгоритм применения способа цепных подстановок описывается следующим образом:

$$y_0 = f(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0);$$
$$y_1^* = f(x_1^1, x_2^0, \dots, x_n^0);$$

$$\begin{aligned} \Delta y(x_1) &= y_1^* - y_0 \\ y_2^* &= f(x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^0); \\ \Delta y(x_2) &= y_2^* - y_1^* \end{aligned} \quad (2)$$

.....

$$\begin{aligned} y &= f(x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1); \\ \Delta y(x_n) &= y_n^* - y_{n-1}^* \end{aligned}$$

где «нулевые значения» (индекс ⁰) – базисные; «единичные» значения (индекс ¹) – отчетные или фактические; y_i^* – промежуточные значения результата.

Общее изменение результата складывается из суммы изменений результирующего показателя за счет изменения каждого фактора при фиксированных остальных факторах, т.е.

$$\Delta y = \sum_i \Delta y(x_i) \quad (3)$$

Рассмотрим пример. Зависимость производительности грузового автомобиля опишем мультипликативной трехфакторной моделью

$$\begin{aligned} U_{см} &= q_n \cdot \gamma_c \cdot n_e; \\ Z &= x \cdot y \cdot a; \\ y &= f(q_n, \gamma_c, n_e). \end{aligned} \quad (4)$$

Таблица 1

Показатели, определяющие производительность грузового автомобиля

Показатель	Базисный период	Отчетный период	Отклонение
Производительность автомобиля, тонн	24	34	+10
Грузоподъемность, тонн	10	10	0
Коэффициент использования грузоподъемности	0,8	0,85	+0,05
Количество ездов	3	4	+1

Численная реализация алгоритма расчета (2) по данным табл. 1 представляет собой

$$1) \quad U^0 = q_n^0 \cdot \gamma_c^0 \cdot n_e^0 = 10 \cdot 0,8 \cdot 3 = 24 \text{ тонн - базисная величина;}$$

$$2) \quad U_1^* = q_n^1 \cdot \gamma_c^0 \cdot n_e^0 = 10 \cdot 0,8 \cdot 3 = 24 \text{ тонн - промежуточная величина;}$$

$\Delta U(q_n^1) = U_1^* - U^0 = 24 - 24 = 0$ - изменение производительности из-за изменения грузоподъемности автомобиля;

$$3) \quad U_2^* = q_n^1 \cdot \gamma_c^1 \cdot n_e^0 = 10 \cdot 0,85 \cdot 3 = 25,5 \text{ тонн;}$$

$\Delta U(\gamma_c^1) = U_2^* - U_1^* = 25,5 - 24 = +1,5$ тонны - изменение производительности из-за изменения коэффициента использования грузоподъемности автомобиля;

$$4) \quad U_3^* = q_n^1 \cdot \gamma_c^1 \cdot n_e^1 = 10 \cdot 0,85 \cdot 4 = 34 \text{ тонны;}$$

$\Delta U(n_e^1) = U_3^* - U_2^* = 34 - 25,5 = +8,5$ тонны - изменение производительности из-за изменения коэффициента использования грузоподъемности автомобиля.

Совокупное влияние факторов равно сумме влияний:

$$\Delta U = U(q_n) + U(\gamma_c) + U(n_e) = 0 + 1,5 + 8,5 = 10 \text{ тонн}$$

Результаты расчетов оформим таблицей (табл.2).

Таблица 2

Влияние факторов на производительность грузового автомобиля

Фактор	Размер влияния, тонн	Удельный вес, %
Грузоподъемность	0	0
Коэффициент использования грузоподъемности	1,5	15
Количество ездов	8,5	85
Итого	10	100

Таким образом, по проведенному расчету можно сделать вывод, что производительность грузового автомобиля зависит от количественных значений образующих ее факторов, определяющих качество использования подвижного состава. При разных величинах достигается и разный уро-

вень производительности. Так, в отчетном периоде по сравнению с базисным, производительность возросла на 10 тонн, в том числе за счет увеличения коэффициента использования грузоподъемности на 1,5 тонны, за счет количества ездов – на 8,5 тонн. Прирост производительности на 85% обеспечен ростом количества ездов и на 15% повышением использования грузоподъемности автомобиля.

Несмотря на универсальность и простоту применения, способ цепных подстановок имеет существенный недостаток – в зависимости от выбранного порядка замены факторов результаты факторного разложения имеют разные значения.

Более точное разложение факторов по степени их влияния на результативный показатель достигается с помощью логарифмического способа, на основании которого определяются коэффициенты, которые представляют собой удельные веса влияния каждого фактора на совокупный показатель.

Мультипликативную факторную модель (4) представим как [1, с. 39]

$$\frac{Z^1}{Z^0} = \frac{x^1 \cdot y^1 \cdot a^1}{x^0 \cdot y^0 \cdot a^0} . \quad (5)$$

Логарифмируя выражение (5), получим

$$\lg \frac{Z^1}{Z^0} = \lg \frac{x^1}{x^0} + \lg \frac{y^1}{y^0} + \lg \frac{a^1}{a^0}$$

или

$$(\lg Z^1 - \lg Z^0) = (\lg x^1 - \lg x^0) + (\lg y^1 - \lg y^0) + (\lg a^1 - \lg a^0).$$

Умножив каждую часть равенства на коэффициент

$$k = \frac{\Delta Z}{\lg Z^1 - \lg Z^0}$$

получим

$$\frac{\Delta Z(\lg Z^1 - \lg Z^0)}{\lg Z^1 - \lg Z^0} = \frac{\lg x^1 - \lg x^0}{\lg Z^1 - \lg Z^0} \cdot \Delta Z + \frac{\lg y^1 - \lg y^0}{\lg Z^1 - \lg Z^0} \cdot \Delta Z + \frac{\lg a^1 - \lg a^0}{\lg Z^1 - \lg Z^0} \cdot \Delta Z. \quad (6)$$

Обозначив отношения при ΔZ в выражении (6) через коэффициенты k_x , k_y , k_a , то выражение примет вид

$$\Delta Z = k_x \cdot \Delta Z + k_y \cdot \Delta Z + k_a \cdot \Delta Z.$$

В продолжение рассмотренного выше примера, рассчитаем коэффициенты

$$k_\gamma = \frac{\lg \gamma^1 - \lg \gamma^0}{\lg U^1 - \lg U^0} = \frac{\lg 0,85 - \lg 0,8}{\lg 34 - \lg 24} = 0,174;$$

$$k_n = \frac{\lg n_e^1 - \lg n_e^0}{\lg U^1 - \lg U^0} = \frac{\lg 4 - \lg 3}{\lg 34 - \lg 24} = 0,826.$$

Рассчитаем величину влияния каждого фактора на совокупный показатель

$$\begin{aligned} \Delta U(\gamma) &= 10 \cdot 0,174 = 1,74 \text{ тонн;} \\ \Delta U(n_e) &= 10 \cdot 0,826 = 8,26 \text{ тонн;} \\ \Delta U &= \Delta U(\gamma) + \Delta U(n_e) = 1,74 + 8,26 = 10 \text{ тонн.} \end{aligned}$$

Таким образом, при помощи рассчитанных коэффициентов удельного веса влияния каждого фактора на совокупный показатель производится пропорциональное распределение совокупного отклонения между факторами.

Достоинство логарифмического способа состоит в том, что он позволяет определить влияние большого числа факторов на результативный показатель без установления очередности.

Литература

1. Любушин Н.П., Лешева В.Б., Дьякова В.Г. Анализ финансово-экономической деятельности предприятия : учебное пособие для вузов / Под ред. Проф. Любушина. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 471 с.
2. Организация и планирование грузовых автомобильных перевозок : учебное пособие / Л.А. Александров, А.И. Малышев, А.П. Кожин, Е.П. Володин и др. – М.: Высш. шк., 1986. – 336 с.

Басыров Р.Р.,
канд. техн. наук, доцент,
Шамсутдинов И.Р.,
канд. техн. наук, доцент

Особенности моделирования параметров автомобиля на этапе проектирования

В настоящее время в процессе проектирования новой автомобильной техники все чаще применяются системы виртуального моделирования. Применение данных систем диктуют жесткая конкуренция на рынке и как результат требование по сокращению времени проектирования. Очевидно, что без систем трехмерного твердотельного моделирования невозможно представить современное высокоточное производство позволяющее создавать высококачественную продукцию.

Эти системы по целевому назначению разделяются на следующие типы:

- CAD - средства автоматизированного проектирования;
- CAE - средства автоматизации инженерных расчётов;
- CAM - средства технологической подготовки производства изделий;
- CAPP - средства автоматизации планирования технологических процессов применяемые на стыке систем CAD и CAM.

CAD системы используются для создания трехмерных моделей проектируемых изделий. Также при помощи этих инструментов создаются чертежи деталей для их изготовления на производстве.

CAE системы обычно применяются параллельно с процессом создания трехмерных моделей. В процессе расчетов применяются различные программные оболочки позволяющие производить инженерные расчёты различной направленности [1]. Также следует отметить, что на сегодняшний день все большее распространение принимают программные продукты, рассчитанные на создание в их среде виртуального автомобиля с целью расчета конечных потребительских свойств автомобиля в целом. Среди крупных продуктов можно выделить системы Applus IDIADA, LMS Amesim, MVC и другие. Все эти системы рассчитаны на поэтапное создание внутри них виртуального автомобиля со всеми системами и узлами. Но существуют коренные отличия между системами. Если рассматривать систему MVC, то она позволяет производить расчеты направленные только лишь на тягово-динамические и топливно-экономические характеристики [2].

Альтернативные системы позволяют проводить более углубленные расчеты процессов происходящих внутри автомобиля (расчет потока воздуха в кабине, потока воздуха через радиатор, расчет упругих характеристик подвески, определение характеристик управляемости автомобиля на этапе проектирования и многое другое). Всё это говорит о том, что системы с таким инструментарием позволяют уменьшить время определения необходимых параметров узлов и агрегатов для достижения наиболее оптимальных конечных характеристик продукта. Как следствие это дает ощутимое уменьшение времени проектирования и как следствие снизить финансовые затраты предприятия. Следует отметить, что такие программные продукты позволят также проводить виртуальные дорожные испытания как автомобиля в целом, так и имитировать стендовые испытания его узлов и агрегатов. Согласно исследованиям фирм разработчиков при достаточном уровне проработки виртуальной модели значения результатов после виртуальных испытаний и реальных дорожных испытаний разнятся не более чем на 5-10%. Вследствие этого можно с уверенностью сказать о том, что использование данных расчетов позволит отказаться от некоторых реальных дорожных испытаний. Хотя не стоит полностью от них отказываться. Проверка потребительских характеристик на опытных образцах техники необходимо проводить в любом случае. Так как существуют требования по сертификации и вновь спроектированный автомобиль должен пройти процесс одобрения типа транспортного средства. Автомобили, спроектированные на базе существующих моделей сразу можно испытывать на виртуальных системах, зная что значения результатов мало отличается от результатов, полученных на реальных дорожных испытаниях.

При рассмотрении процесса проектирования нового изделия в рамках производства грузового автотранспорта, то создание новой модели автомобиля проходит по следующим этапам:

- разработка эскизного проекта, определение ключевых потребительских характеристик конечного изделия, утверждение конечной модели, создание конструкторско-технологической документации и изготовление опытного образца. На современных предприятиях на разработку нового продукта отводится в среднем около 4-ех месяцев;
- комплексные расчеты как отдельных сборочных единиц, так изделия в целом. Проводятся прочностные расчёты конструктивных элементов, несущих конструкций и элементов, отвечающих за пассивную безопасность. При помощи различных программных оболочек и систем моделируются различные системы автомобиля (двигатель, система охлаждения,

системы выпуска и нейтрализации газов, подвеска автомобиля, рама и другие узлы и агрегаты);

- изготовление опытного образца;
- испытания. Уточняются потребительские характеристики автомобиля, которые были заложены на первом этапе. Процесс испытания сам по себе очень длителен и требует больших финансовых и временных затрат.

Моделирование параметров автомобиля на этапе проектирования при создании облика оригинальных элементов позволяет резко сократить время разработки, что принесет ощутимый экономический эффект (рисунок 1).

К тому же использование виртуальных испытаний позволит сэкономить на реальных испытаниях, так как стоимость испытаний может быть в пять раз больше чем стоимость создания конструкторской документации.

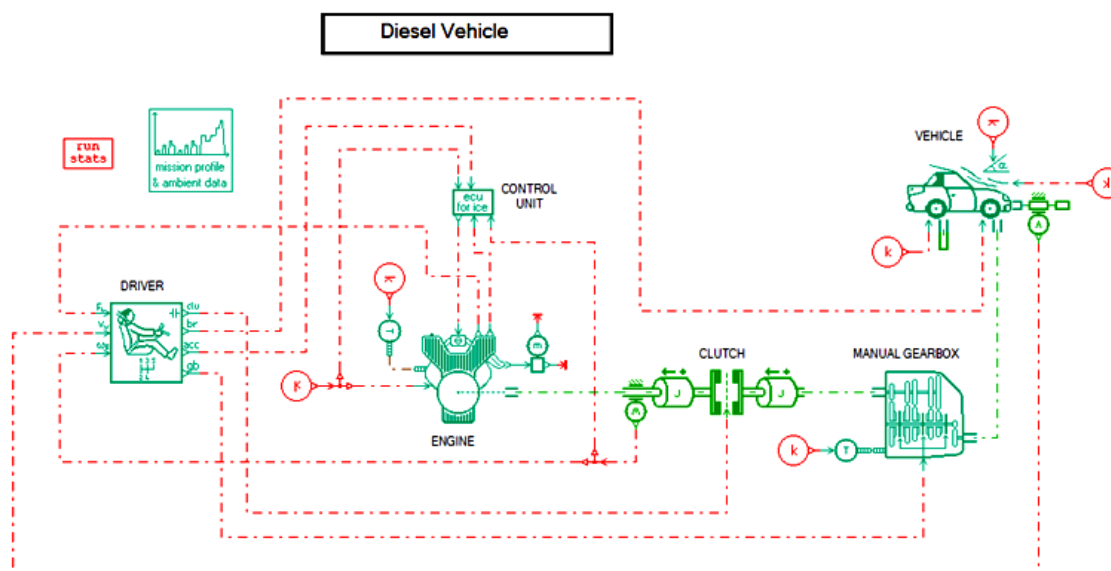


Рис. 1. Модель автомобиля с дизельным двигателем, механической коробкой передач и фрикционным сцеплением

Литература

1. Басыров Р.Р., Фасхиев Х.А. Оптимизация параметров автомобиля на этапе разработки. //Автомобиль и техносфера: тезисы докладов I международной конференции. – Казань: КГТУ, 2001. – С. 148-156.
2. Басыров Р.Р., Шайхуллин Э.Ф. Технологии моделирования параметров при проектировании автомобиля// Проблемы и достижения автотранспортного комплекса: материалы X юбилейной Всероссийской научно-технической конференции. – Екатеринбург, Изд-во УГЛТУ, 2012. – С.8-9.

Перспективы совершенствования конструкции двигателей семейства КАМАЗ (по материалам фирмы AVL)

В настоящее время сохранение рынков сбыта, усиление конкурентных позиций продукции ОАО «КАМАЗ» являются наиболее приоритетными задачами, что требует разработки и создания высокоэффективной и конкурентоспособной автомобильной техники. Поэтому, в сложившихся кризисных условиях, повышение технико-экономических и экологических показателей дизельных двигателей КАМАЗ, наряду с максимальным использованием основных серийных агрегатов, узлов и деталей и их дальнейшее совершенствование, является наиболее актуальным направлением развития. Наиболее перспективным направлением увеличения мощностных характеристик двигателя является форсирование по среднему эффективному давлению - P_e . Увеличение P_e связано с ростом максимального давления цикла $P_{z\max}$.

Перечень основных деталей, механизмов и систем двигателя, требующих доработки при повышении $P_{z\max}$ до 200 и 250 бар:

1. Блок цилиндров
2. Цилиндро-поршневая группа (Шатун, Поршень, Кольца)
3. Головка блока цилиндров
4. Механизм газораспределения
5. Система охлаждения
6. Системы впуска и выпуска
7. Система турбонаддува
8. Система рециркуляции ОГ
9. Система топливоподачи

Для двигателей экологических классов 4, 5 с форсировкой рабочего процесса до значений $P_z=200$ и 250 бар требуется проведение мероприятий, направленных на дальнейшее повышение надежности блока цилиндров. Учитывая опыт ведущих мировых производителей двигателей, как вариант решения этой проблемы была предложена замена материала блока на чугун с вермикулярным графитом ЧВГ35. Основные особенности перспективного блока цилиндров показаны на рис.1.

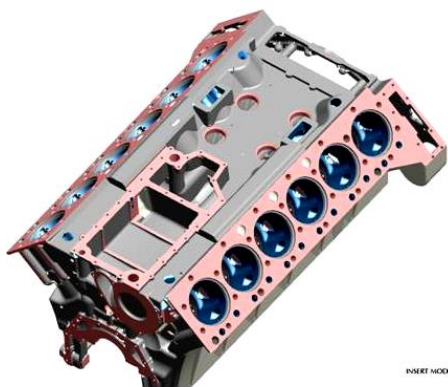


Рис. 1. Блок цилиндров

1. Увеличенная высота нижней части блока
2. «Мокрая» гильза с верхним посадочным поясом
3. Встроенная общая распределительная охлаждающая магистраль
4. Улучшенное охлаждение верхней части гильзы
5. Охлаждение перекрестными потоками
6. Фиксация крышек коренных подшипников поперечными болтами (при $P_z=200$ бар - 2 болта, при $P_z=250$ бар - 4 болта)

Основные особенности перспективного шатуна показаны на рис.2.



1. Коническая или ступенчатая форма верхней головки шатуна
2. Ломаная линия разъема нижней головки шатуна

Рис. 2. Шатун

Основные особенности перспективного поршня показаны на рис. 3.

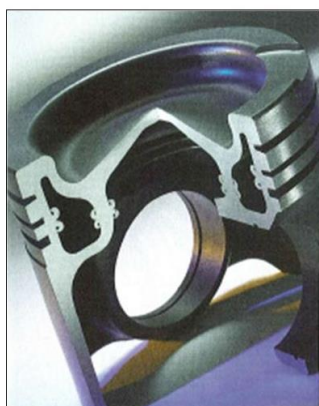


Рис. 3. Поршень

1. Кованый стальной поршень из двух частей соединенных сваркой трением
2. $P_z=250$ бар
3. Внутренняя полость охлаждения
4. Спрофилированное отверстие под палец, для уменьшения диаметра пальца
6. Цельная юбка поршня для улучшения динамики
7. Возможность подбора различных материалов для головки и юбки поршня

Варианты компоновки одноименных клапанов головки цилиндров и геометрические размеры седла и клапана представлены на рис. 4.

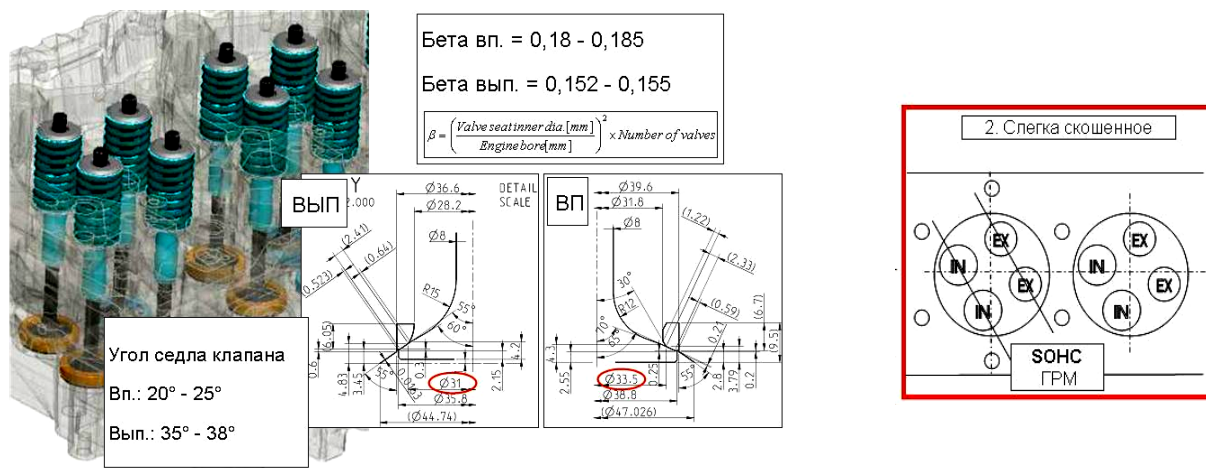


Рис. 4. Геометрические размеры седла и клапана

Основные особенности головки цилиндра представлены на рис.5.



1. Индивидуальная ГЦ
2. Скошенное расположение клапанов
3. 4 клапана на цилиндр
4. Впускные каналы; винтовой + тангенциальный, степень закрутки 1,5
5. 6 болтов головки на цилиндр
6. Разделение верхнего и нижнего потоков ОЖ
7. Поток ОЖ «сверху – вниз»
8. Центральное расположение форсунки

Рис. 5. Головка цилиндров

Компоновка системы турбонаддува представлена на рис. 6.

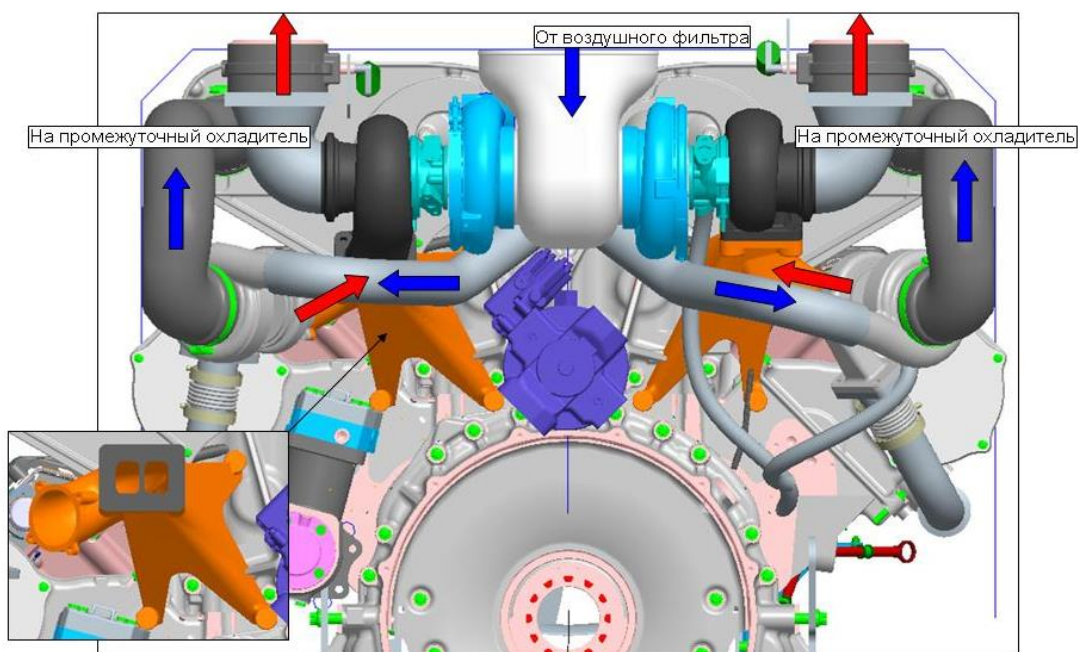


Рис. 6. Компоновка системы турбонадува

Компоновка системы рециркуляции ОГ представлена на рис.7.

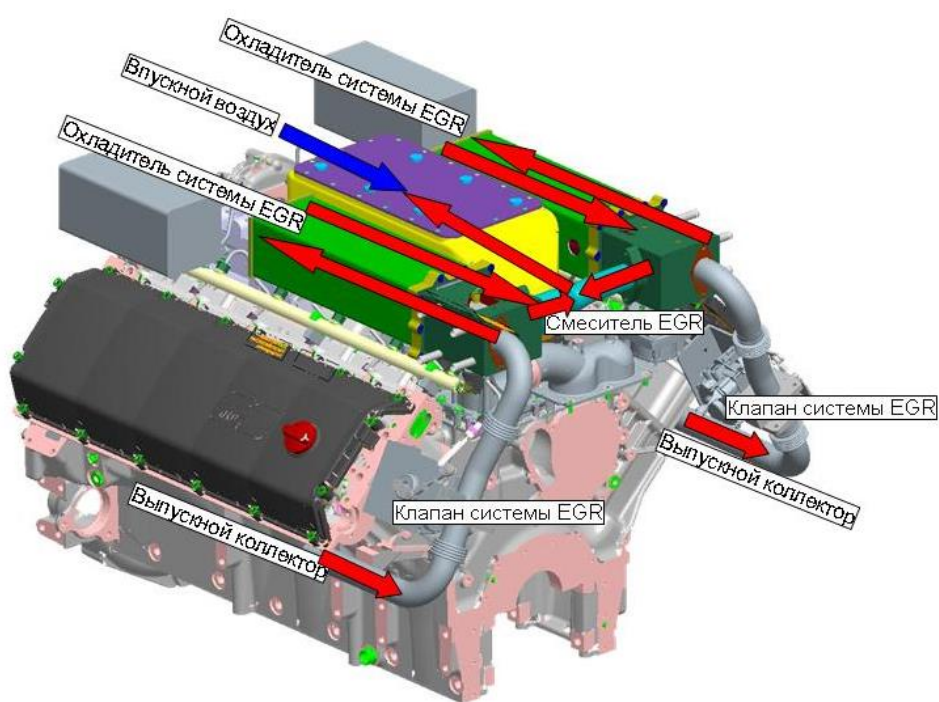


Рис. 7. Компоновка системы рециркуляции ОГ

Схема перспективной системы топливopдачи «COMMON RAIL» и предлагаемая форма многофазного впрыска представлены на рис. 8 и 9.

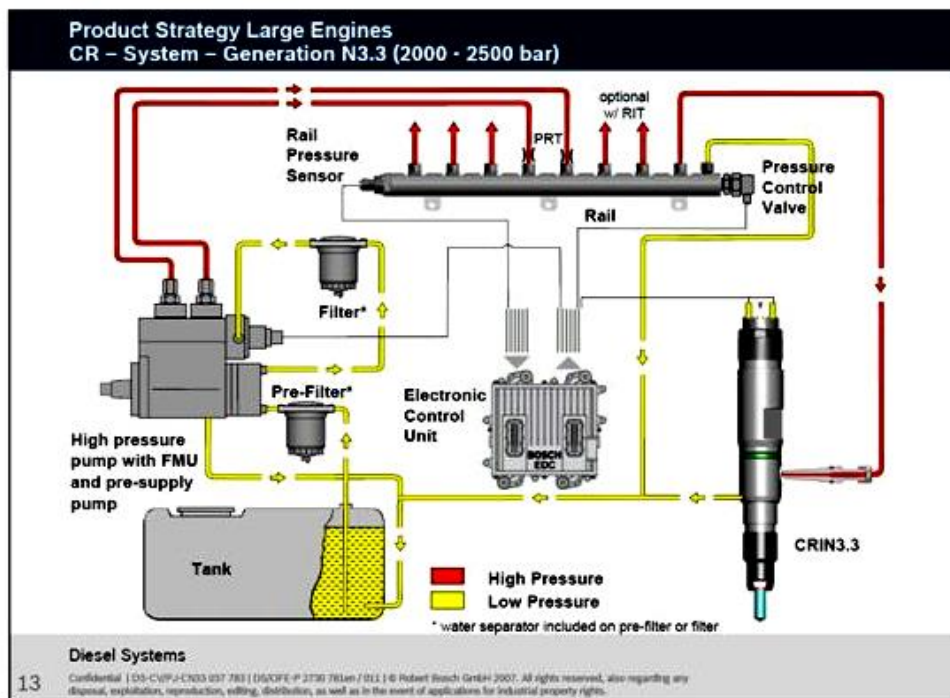
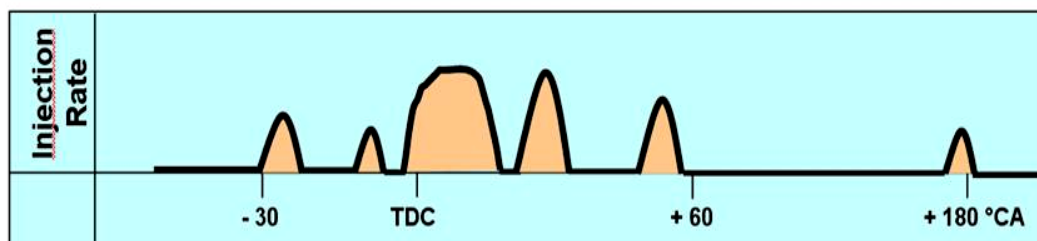


Рис. 8. Схема перспективной системы «COMMON RAIL»

Многофазный впрыск

- Многофазный впрыск
- Начало моментов впрыска



- Ранний пилотный впрыск для альтернативного сгорания (HCCI)
- Близкий пилотный впрыск для контроля шума и выбросов
- Главный впрыск
- Близкий вторичный впрыск для контроля NOx / Сажи
- Поздний вторичный впрыск для увеличения темп. выпускных газов перед oxi cat (DPF)
- Очень поздний вторичный впрыск для управления темп. выпускных газов посредством обогащения HC (DPF)

Рис. 9. Диаграмма многофазного впрыска

Мавлеев И.Р.,
канд. техн. наук, доцент,
Салахов И.И.,
канд. техн. наук, доцент,
Волошко В.В.,
ст. преподаватель

Коробка передач грузового автомобиля

Тенденция развития силовых приводов транспортных средств диктует новые требования к конструкции трансмиссии грузовых автомобилей нового поколения. Эти трансмиссии должны обладать принципиально новыми техническими характеристиками и потребительскими свойствами. Эти свойства обеспечиваются применением многоступенчатых коробок передач, в кинематических схемах которых применяются дифференциальные механизмы различных конструкций и принципов действия [1, 2].

Любая вновь проектируемая коробка переада, особенно в сегменте тяжелых грузовых автомобилей и магистральных тягачей, должна:

- обладать надежной и жесткой конструкцией с меньшими габаритными размерами и весом;
- обеспечивать повышение быстродействия и плавности переключения диапазона передач делителя, желательно без разрыва потока мощности и без необходимости выключения сцепления;
- позволять проводить испытания отдельных узлов коробки передач до основной сборки, а именно дифференциального делителя, основного редуктора и дифференциального демультипликатора, что в итоге повышает качество окончательной сборки коробки передач в условиях крупносерийного производства.

В Набережночелнинском институте Казанского федерального университета была разработана и запатентована конструкция автомобильной многоступенчатой коробки передач, удовлетворяющая современные требования к трансмиссиям грузовых транспортных средств, кинематическая схема которой изображена на рисунке 1 [3].

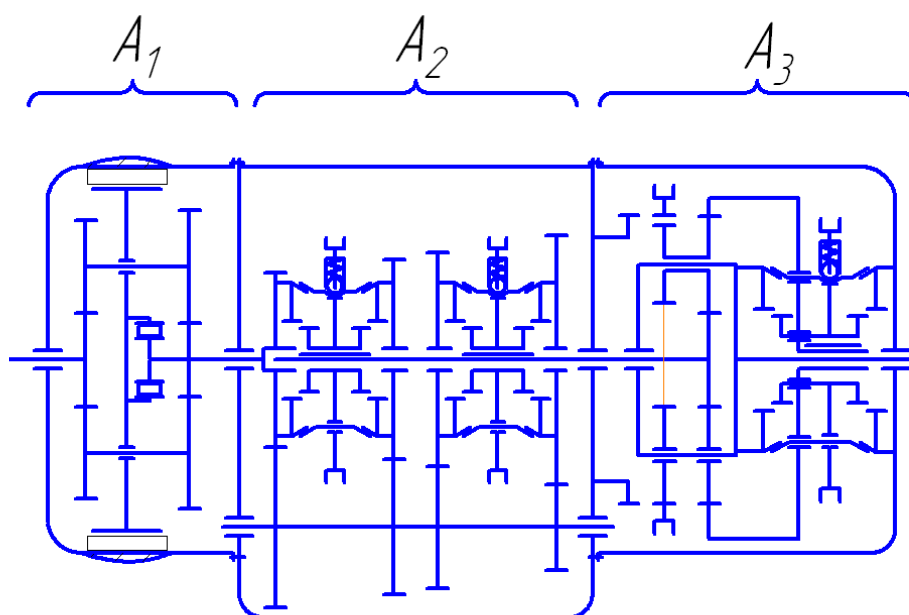


Рис. 1. Кинематическая схема автомобильной многоступенчатой коробки передач грузового автомобиля:

A1 – дифференциальный делитель; A2 – основной редуктор; A3 – дифференциальный демультипликатор.

Автомобильная многоступенчатая коробка передач состоит из дифференциального делителя, основного четырехскоростного редуктора и дифференциального демультипликатора с интегрированной задней передачей [4, 5].

Реализация данной схемы многоступенчатой коробки передач позволяет за счет применения дифференциального делителя исключить из конструкции основного редуктора зубчатых передач и синхронизатора, образующих делитель коробки передач у прототипа, а также значительно уменьшить осевые размеров и вес вторичного и промежуточного валов, что обуславливает уменьшение веса коробки передач. Исключение из конструкции основного редуктора дополнительного ряда зубчатых шестерен заднего хода за счет применения дифференциального демультипликатора с интегрированной задней передачей дополнительно уменьшает осевые размеры и вес вторичного и промежуточного валов.

Использование дифференциального делителя в конструкции многоступенчатой коробки передач позволяет осуществлять переключение диапазона делителя без выключения сцепления, плавно и без разрыва потока мощности, что обеспечивает уменьшение износа трущихся деталей сцепления, повышение коэффициента использования мощности и повышение топливной экономичности двигателя, так как в моменты переключения диапазона делителя, которые происходят в четыре раза чаще, чем пере-

ключение передач основного редуктора, двигатель не переходит в режимы частичных нагрузок [6, 7].

С использованием современных программных решений для проектирования и инженерных расчетов была разработана трехмерная модель конструкции многоступенчатой коробки передач, представленная на рисунке 2.

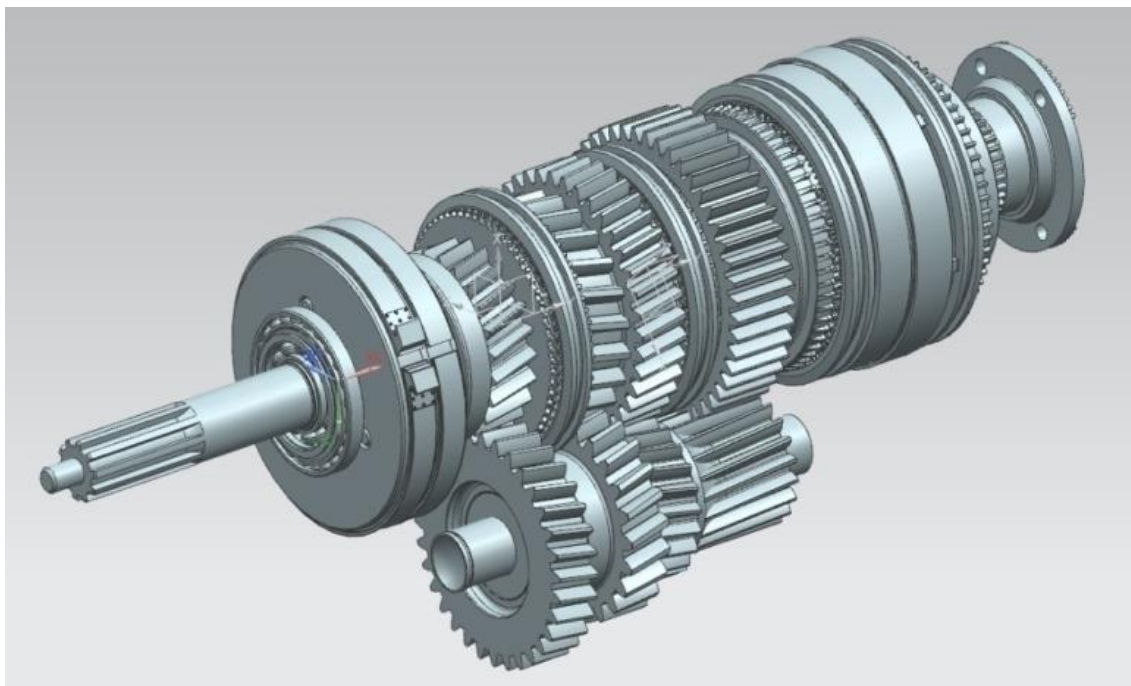


Рис. 2. 3D модель многоступенчатой коробки передач грузового автомобиля

Коробка передач содержит корпус основного редуктора с отверстиями для крепления картера сцепления, являющегося одновременно картером дифференциального делителя, и картера дифференциального демультипликатора. Корпус основного редуктора с картером сцепления образуют замкнутую полость, в которой находятся первичный вал, промежуточный вал и вторичный вал основного редуктора коробки передач. Первичный вал является валом-шестерней, опирающейся на роликоподшипник, установленный в отверстии картера сцепления. Промежуточный вал опирается на два роликоподшипника, установленные в отверстиях корпуса и картера сцепления. Вторичный вал одним концом опирается на роликоподшипник, установленный в первичном валу, а вторым концом – на роликоподшипник, установленный в корпусе основного редуктора.

Заключение. В отличие от прототипа, у которого переключение диапазона делителя осуществляется с помощью синхронизатора, в предлагаемой коробке передач для включения ускоряющей передачи осуществляется торможением водила дифференциального делителя ленточными тормоза-

ми, для включения прямой передачи ленточные тормоза освобождаются, и происходит автоматическая блокировка вала дифференциального делителя через муфту свободного хода на выходной вал дифференциального делителя.

Небольшая разница передаточных отношений соседних передач коробки позволяет выбрать оптимальный режим движения в экономичном диапазоне числа оборотов двигателя. Кроме того, это облегчает управление коробкой передач и снижает уровень шума.

По сравнению с прототипом предлагаемая автомобильная многоступенчатая коробка передач обладает техническими характеристиками соответствующими требованиям современного автомобилестроения, в том числе, имеет меньшие габаритные размеры и вес, обладает большей жесткостью, виброустойчивостью и меньшими инерционными массами вращающихся частей зубчатых передач, что обуславливает быстроедействие процессов переключения передач, более высокий коэффициент использования мощности двигателя и более высокие показатели топливной экономичности при использовании в трансмиссиях современных автомобилей.

Литература

1. Мавлеев И.Р. Разработка рациональных схем и конструкций высокомоментных гидромеханических вариаторов для транспортных средств: автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Набережные Челны, 2007. – 19 с.

2. Салахов И.И. Разработка рациональных схем автоматических коробок передач на основе планетарной системы универсального многопоточного дифференциального механизма: автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Ижевск: ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2013. – 23 с.

3. Волошко В.В., Мавлеев И.Р., Салахов И.И. Автомобильная многоступенчатая коробка передач. Патент №2508486 РФ // «Бюллетень изобретений». – 2014. – №6.

4. Волошко В.В., Мавлеев И.Р., Салахов И.И., Шайхутдинов И.Ф. Автомобильная многоступенчатая коробка передач // Справочник. Инженерный журнал. – 2014. – №11. – С. 46-49.

5. Волошко В.В., Мавлеев И.Р. Автоматические трансмиссии с динамическими связями на базе дифференциальных гидромеханических вариаторов. // Справочник. Инженерный журнал. М: ООО «Издательский дом «Спектр». – 2012. – №9. – С. 50-55.

6. Salakhov I. I., Voloshko V. V., Mavleev I. R., Galimyanov I. D. Kinematic scheme and design of automatic planetary gear boxes based on a new

module / Contemporary Engineering Sciences, Vol. 8, 2015, no. 1, 1-6.
<http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.411215>.

7. Ildar Ilgizarovich Salakhov, Vladimir Vladimirovich Voloshko, Ilnur Dinaesovich Galimyanov and Ildus Rifovich Mavleev Universal Differential Mechanism / Biosciences Biotechnology Research Asia, Vol. 11(3), 2014, 1553-1557 pp. <http://www.biotech-asia.org/currentissue.php?pg=2>.

Макарова И.В.,

д-р техн. наук, профессор,

Беляев Э.И.,

канд. техн. наук, доцент

Повышение надежности автомобильной техники с использованием логико-вероятностного метода

Эффективность функционирования технических систем (ТС) в значительной степени зависит от надежности как отдельных устройств, входящих в системы, так и элементов, обеспечивающих взаимодействие между этими устройствами. Несмотря на значительные усилия в области повышения надежности ТС, уровень их надежности часто не удовлетворяет все возрастающим требованиям. Это приводит к значительным простоям систем, а также к повышению эксплуатационных расходов. Кроме того, отказы ТС могут привести к аварийным ситуациям, последствия которых могут быть значительными. Эксплуатационная надежность автомобилей характеризуется такими показателями как безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность автомобилей, их агрегатов, узлов и деталей. Особое значение при этом имеет выявление деталей, лимитирующих надежность автомобилей. К деталям и узлам, лимитирующим надежность агрегатов автомобиля относят те из них, отказы которых составляют не менее 50 % от общего числа отказов, а затраты на устранение этих отказов (на запасные части и работы по замене деталей) – не менее 70 % от общей суммы затрат. Знание закономерностей возникновения отказов позволяет решать практические задачи в сферах производства автомобилей и их эксплуатации.

Изучение законов распределения наработок на отказ имеет большое практическое значение и позволяет: глубже познать природу отказов, их физическую сущность; обобщить отказы с общими закономерностями распределения наработок и выработать стратегию их предупреждения; более точно производить расчеты по надежности и объему ремонтных воздействий; моделировать и прогнозировать отказы, совершенствовать систему

технического обслуживания и текущего ремонта (ТО и ТР). Однако при этом возникают вопросы, связанные с корректностью статистических данных; надежностью способов их получения, хранения и обработки; адекватностью методов интерпретации результатов анализа данных.

Сбор и формализация статистических данных об отказах при анализе надежности

При сборе статистических данных об отказах необходимо иметь в виду, что случайной величиной при оценке надежности является время между отказами, а при оценке ремонтпригодности – длительность времени ремонта. Поскольку любая техническая система работает с перерывами, вызванными отсутствием необходимости ее использования, техническими обслуживаниями и ремонтами, и другими причинами [1], при сборе статистических данных об отказах необходимо фиксировать не только дату отказа системы, но также суммарное время работы между отказами, исключив время ее нерабочего состояния. При анализе надежности необходимо, чтобы математическая модель функционирования объекта соответствовала реальной системе эксплуатации объекта. Как известно, интенсивность отказов элементов определяется по формуле (1):

$$\lambda(\Delta t) = (n(\Delta t)) / \bar{N} \Delta t \quad (1)$$

где $n(\Delta t)$ – число отказавших элементов за время Δt ; \bar{N} – среднее число элементов, исправно работающих на участке Δt . Поскольку интенсивность отказов характеризует надежность невозстанавливаемых устройств до первого отказа, $\lambda(\Delta t)$ должен определяться при условии замены отказавших элементов исправными. При отказе сложной системы из-за отказа элемента система не снимается с эксплуатации, а отказавший элемент заменяется исправным. По этой причине число элементов в системе остается постоянным. Учитывая, что среднее число исправно работающих элементов $N_{ср}$ на участке Δt остается постоянным и равным первоначальному их количеству, по формуле (1) получаем не интенсивность отказов элементов, а среднюю частоту отказов $\omega(t)$. Это характеристика надежности восстанавливаемых систем.

При создании новой техники конструктор использует для оценки надежности ее элементов статистические данные, полученные при эксплуатации аналогичной техники. Если данные о надежности элементов не

корректны, это может привести к значительным ошибкам, особенно в случае анализа надежности сложных систем. Показатели надежности сложной системы вычисляются по следующим формулам:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i - \text{интенсивность отказов} \quad T_c = \frac{1}{\lambda_c} - \text{средняя наработка до отказа}$$

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t} - \text{вероятность отказа системы} \quad A_r = \frac{T_c}{T_c - T_r} - \text{коэффициент доступности}$$

где $\lambda_c, T_c, P_c(t)$ – интенсивность отказов, наработка на отказ и вероятность безотказной работы системы;

λ_i – интенсивность отказов i -го элемента, полученная из эксплуатации;

T_B – среднее время восстановления системы;

n – число элементов в системе.

Очевидно, что расчеты по приведенным формулам дадут некорректные результаты, поскольку параметр потока отказов системы не равен сумме параметров потоков отказов элементов, кроме того,

$$\lambda(t) \neq \omega_i(t).$$

Поскольку при эксплуатации на техническую систему воздействует множество факторов, которые по своей природе могут быть стохастическими, авторы научных работ разрабатывают методики, в которых применяют законы теории вероятности и нечеткой логики. Авторы статьи [2] предлагают методологию оценки для расчета стоимости жизненного цикла восстанавливаемых систем, основанную на показателях надежности и ремонтпригодности. Авторами разработана обобщенная модель расчета стоимости важных этапов жизненного цикла системы. Срок службы восстанавливаемого системы моделируется с помощью двух параметров распределения Вейбулла. Авторы статьи [3] предлагают для оценки надежности при разработке новой техники использовать теорию нечеткой логики. Авторы считают, в условиях недостаточных объемов численных данных можно использовать информацию по гарантийному обслуживанию аналогичных систем.

Для формализации информации об отказах и неисправностях предлагается использовать кодификатор дефектов. Описание дефекта хранится в виде составного кода, включающего в себя код подгруппы деталей, в кото-

рую входит дефектный узел, код непосредственно дефектного узла, код детали-виновника дефекта (может совпадать с кодом дефектного узла), код технической сущности дефекта, код причины возникновения дефекта, код способа устранения дефекта (рисунок 1).



Рис. 1. Описание дефекта в виде составного кода

Описание неисправности выполняется с помощью стандартизованных терминов, которые разбиты на блоки: внешние проявления, причины возникновения, техническая сущность и способ устранения. Как правило, выходу автомобиля из строя сопутствуют внешние проявления неисправностей, которые можно разбить на две группы по признакам проявления (таблица 1). Технические сущности дефектов были разделены на группы по признаку материала (таблица 2).

Таблица 1

Группы внешних проявлений дефектов

ПРЯМЫЕ ПРИЗНАКИ	КОСВЕННЫЕ ПРИЗНАКИ
Включение (выключение) затруднено	Биение
Замерзание	Люфт
Срыв резьбы...	Течь...

Таблица 2

Классификация технической сущности возникновения дефектов

Металлические детали	Резинотехнические изделия	Детали из полимерных материалов
Выкрашивание	Замасливание	Замасливание
Выплавление	Засорение	Отслаивание
Трещина...	Разбухание...	Растяжение...

Это позволило составить формализованное описание дефекта в виде кодификатора (присвоив сущностям определенные коды).

Использование кодификатора дефектов позволяет автоматизировать процесс составления рекламационных актов (гарантийный период эксплу-

атации) и наряд-заказов (постгарантийный период эксплуатации), тем самым на этапе сбора информации избежать случайных ошибок. Кроме того, представление описания дефекта узла или агрегата автомобиля в виде составного кода дает возможность анализировать причины возникновения отказов и планировать стратегию сервиса.

Логико-вероятностный метод при планировании сервиса технических систем

Наиболее эффективным направлением повышения эксплуатационной надежности является предупреждение отказов. Методы предупреждения отказов могут быть основаны на прогнозировании моментов их появления, либо на статистических данных о долговечности элементов. Так, в статье [4] предложен «динамический» метод оптимизации сервиса для парков грузовых автомобилей за счет применения инновационной стратегии, основанной на интеллектуальном подходе к управлению сервисом. Авторы статьи [5] сравнивают стоимость сервисного обслуживания при разных стратегиях. Рассмотренный вариант стратегии предполагает обеспечение безотказности работы изделия. В статье [6] рассмотрена задача оптимизации системы, обладающей линейно возрастающей скоростью опасности и имеющей постоянную скорость ремонта. Автор отмечает, что оперативная производительности системы с ограниченной доступностью может быть рассчитана по средней продолжительности жизни согласно распределению Рэлея и среднему времени ремонта. Авторы статьи [7] предлагают методику определения продолжительности безотказной работы Марковских систем, путем использования стратегии сервиса, включающей три варианта ремонтов.

На наш взгляд, наиболее эффективными методами применительно к сложным техническим системам являются логико-вероятностные методы (ЛВМ) расчета надежности технических систем [8]. Это такие методы, когда структура системы описывается с помощью математической логики, а количественная оценка ее надежности производится с помощью теории вероятностей. ЛВМ имеют преимущество над такими методами, как вероятностная оценка дерева неисправностей, анализ дерева отказов, поскольку могут применяться для структурно-сложных систем. Кроме того, если на начальном этапе использования ЛВМ логические переменные заменялись вероятностями, а логические операции - арифметическими операциями, что было возможно только для простых структур, то в настоящее время применяют автоматизированное логико-вероятностное моделирование структурно-сложных систем большой размерности.

В качестве примера применения ЛВМ (LPM) для анализа надежности рассмотрим статистику отказов парка грузовых автомобилей региона Казахстан за 4 года. Численность парка гарантийных автомобилей за рассматриваемый период составила $N_0 = 5466$ автомобилей. При этом, число неисправных автомобилей по причине отказа двигателя за этот период составило $N_{fail}(t_i) = 650$ единиц. Таким образом, вероятность отказа двигателя в данном регионе за исследуемый период составила

$$P = \frac{N_{fail}(t_i)}{N_0} = \frac{650}{5466} = 0,119.$$

Мы обобщили отказы по месту их возникновения и по причинам. Для этого были построены логические схемы – дерево отказов двигателя и дерево отказов одного из его механизмов – кривошипно–шатунного (рис.2а,б). Для расчета влияния каждого механизма и подсистемы на надежность работы системы определялись их «вклады». При этом вклад элемента x в системе y – есть частная производная от вероятности безотказной работы системы Q по вероятности безотказной работы элемента Q_{unit} . Так, например, вероятность безотказной работы двигателя

$$Q = 1 - P = 1 - 0,119 = 0,881.$$

При этом вероятность работы газораспределительного механизма

$$Q_{unit} = 1 - P_{unit} = 1 - \frac{N_{funit}(t_i)}{N_{ounit}} = 1 - \frac{90}{5466} = 0,9836,$$

где P_{unit} – вероятность отказа газораспределительного механизма; $N_{funit}(t_i) = 90$ – число отказов газораспределительного механизма в рассматриваемом парке автомобилей. Вклад газораспределительного механизма в надежность двигателя:

$$R = \frac{\partial Q}{\partial Q_{unit}} = 0,139.$$

Для расчета вкладов каждого механизма и системы в надежность двигателя использовалась программа AnyGraph.

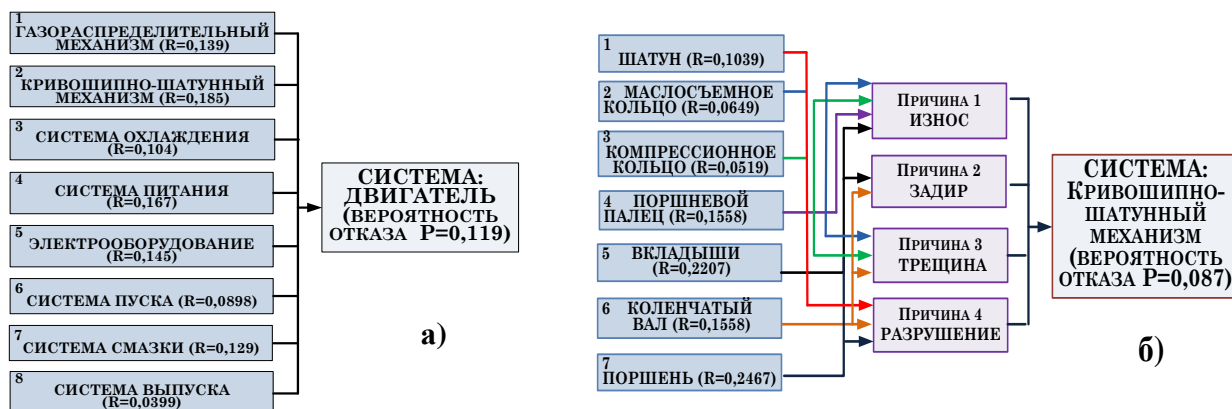


Рис. 2. Дерево отказов двигателя (а) и кривошипно-шатунного механизма (б)

Использование кодификатора дефектов для формирования статистики отказов и их анализ с помощью ЛВМ позволяет определить сервисную стратегию в гарантийный период с обоснованием ее стоимости, а также выполнять ее корректировку в случае необходимости при изменении статистики отказов. Кроме того, такая методика позволяет планировать поставки запасных частей для выполнения гарантийных ремонтов.

Заключение

Выполненные исследования показали, что только системные решения по повышению надежности на всех этапах жизненного цикла автомобильной техники позволят повысить ее конкурентоспособность, а также обеспечить возможность безаварийной работы. Применение кодификатора дефектов в сочетании с ЛВМ (LPM) позволит более точно прогнозировать возможные отказы, предупреждать их, а также обеспечить своевременную доставку необходимых запасных частей. При этом необходимо создать условия для своевременного обновления исходной информации, ее оперативной обработки и хранения готовых решений.

Литература

1. Амбросовский В.М., Белый О.В., Скороходов Д.А. Интегрированные системы управления технических средств транспорта. СПб.: Элмор, 2001, 288 с.
2. Laxman Y. Waghmode & Anil D. Sahasrabudhe (2012) Modelling maintenance and repair costs using stochastic point processes for life cycle cost-

ing of repairable systems, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 25:4-5, 353-367.

3. Om PrakashYadav , Nanua Singh, Parveen S. Goel& Rachel Itabashi-Campbell (2003) A Framework for Reliability Prediction During Product Development Process Incorporating Engineering Judgments, Quality Engineering, 15:4, 649-662.

4. Rosanna Fornasiero , Andrea Zangiacomi&MarzioSorlini (2012) A cost evaluation approach for trucks maintenance planning, Production Planning & Control, 23:2-3, 171-182.

5. MahmoodShafiee , Maxim Finkelstein & Ming J. Zuo (2013) Optimal burn-in and preventive maintenance warranty strategies with time-dependent maintenance costs, IIE Transactions, 45:9, 1024-1033.

6. SuneungAhn&Woohyun Kim (2011) On determination of the preventive maintenance interval guaranteeing system availability under a periodic maintenance policy, Structure and Infrastructure Engineering, 7:4, 307-314.

7. S. Thein, Y.S. Chang & C. Makatsoris (2012) A Study of Condition Based Preventive Maintenance Model for Repairable Multi Stage Deteriorating system, International Journal of Advanced Logistics, 1:1, 83-102.

8. RyabininI.A.Logical Probabilistic Analysis and Its History-http://www.szma.com/Ryabinin_2014.pdf.

Макарова И.В.,

д-р техн. наук, профессор,

Жбанова С.А.,

ст. преподаватель,

Давлетшин Д.Ф.,

магистрант

Обоснование способов повышения безопасности движения на участках с ограниченной видимостью

Улично-дорожная сеть (УДС) значительной части крупных городов формировалась в то время, когда автомобильного движения еще не было, ее конфигурация не рассчитана на текущую интенсивность движения. Кроме того, большинство улиц и дорог не подлежат реконструкции. Основным недостатком такой конфигурации УДС является большое количество участков с ограниченной видимостью, таких как заезды и выезды с прилегающей территории, развороты и повороты. Основными элементами,

ограничивающими видимость, являются здания и сооружения, рельеф участков, а также зеленые насаждения.

Подобные участки УДС являются местами повышенной концентрации ДТП. Набережные Челны - относительно молодой город, который строился «на перспективу», с учетом возможного роста интенсивности городского движения. Тем не менее, в городе имеются участки УДС с ограниченной видимостью. На таких участках происходит 20-25% от общего числа ДТП [1].

Вождение автомобиля в сложных дорожных условиях, это непременно то, с чем сталкивается каждый водитель. Даже учитывая тот факт, что большая часть населения проживает в городах, городская дорожная сеть далека от идеала.

Дорожные условия и безопасность движения - эти понятия нельзя разделять друг от друга. Сложные дорожные условия - одна из причин, которая напрямую влияет на безопасность движения.

Сложные дорожные условия это совокупность факторов, в результате которых может быть или ограничена видимость, или ухудшается управляемость автомобиля. К ним можно отнести:

- погодные условия;
- дорожно-транспортные условия;
- сам автомобиль.

Ограниченная видимость - видимость водителем дороги в направлении движения, ограниченная рельефом местности, геометрическими параметрами дороги, растительностью, строениями, сооружениями или иными объектами, в том числе транспортными средствами [2].

Для этого был произведен анализ статистики ДТП в местах с ограниченной видимостью в городе Набережные Челны за 2014 г. и первую половину 2015 года. Данные были получены из ОГИБДД УМВД России по г. Набережные Челны. На основе этих данных можно выделить, что из-за несоблюдения очередности проезда по вине водителей:

- за 2014 г. произошло 106 ДТП или 18,9% от всех ДТП, при которых погибли 2 человека и 140 ранено;
- за первую половину 2015 произошло 45 ДТП или 20% от всех ДТП, при которых 1 человек погиб и 65 человек ранено.

Контроль за соблюдением правил, нормативов и стандартов в части обеспечения безопасности дорожного движения применительно к службе дорожной инспекции и организации движения (ДИ и ОД) осуществляется на этапах согласования проектов строительства (реконструкции) автомобильных дорог и улиц различных категорий и дорожных сооружений, про-

ведения выборочных проверок строящихся объектов, участия в рабочих и государственных комиссиях по приемке их в эксплуатацию, ежегодных комплексных проверок, контрольных проверок и повседневного надзора за состоянием улично-дорожной сети (УДС) и дорожных сооружений [3].

Со временем все основные транспортно-эксплуатационные свойства УДС и технических средств организации дорожного движения претерпевают изменения:

- происходит естественный износ покрытия и снижается его коэффициент сцепления;
- ухудшаются светотехнические характеристики дорожных знаков, светофоров и разметки;
- меняются условия видимости и т.д.

В целях обеспечения безопасности движения периодически необходимо оценивать состояние видимости на отдельных элементах улиц и дорог.

Городские дороги и улицы - важная составная часть городской инфраструктуры, представляющая собой систему инженерных сооружений, предназначенную для организации движения городского транспорта и систему вспомогательных сооружений, обеспечивающих функционирование улично-дорожной сети города.

С целью обеспечения безопасности на участках с ограниченной видимостью применяются следующие методы:

1. Реконструкция существующей улично-дорожной сети города [4];
2. Удаление препятствий ограничивающих видимость с обочин дорог полностью или частично;
3. Установка сферических дорожных зеркал.

Современное сферическое дорожное зеркало (Рисунок 1) является универсальным и незаменимым средством, применяемым для обеспечения высокой степени безопасности транспортного движения на автотрассах города в условиях сниженной видимости на проезжей части автодорог.



Рис. 1. Примеры применения сферических зеркал

Поскольку видимость может быть ограничена разными факторами, для исследования были выбраны три типа участков с ограниченной видимостью:

1. Выезд на местную дорогу с прилегающей территории с зелеными насаждениями, ограничивающими видимость;
2. Выезд на местную дорогу с местной территории с препятствием, ограничивающим видимость;
3. Разворот с ограниченной видимостью.

Для подтверждения гипотезы о необходимости принятия мер по повышению безопасности движения в местах с ограниченной видимостью была проведена видеосъемка движения транспорта на данных участках. Анализ полученных данных проводился с использованием технологии многомерного анализа данных OLAP. После анализа были выбраны наиболее опасные участки для построения имитационных моделей и проведения дальнейших экспериментов.

Для построения имитационных моделей была использована среда AnyLogic [5]. При моделировании учитывались такие факторы, как интенсивность транспортного потока, плотность потока, средняя скорость движения и задержки движения. Значения этих факторов определялись на основании обработанных данных натурных исследований.

Исследование проводилось 15-ти минутными интервалами во время нормальной загрузки улично-дорожной сети города (Таблица 1) и во время пиковой загрузки улично-дорожной сети города (часы пик) (Таблица 2) [6].

Таблица 1

Расчеты во время нормальной загрузки улично-дорожной сети

Время	Интенсивность потока (авт./час)	Пиковые значения интенсивности потока (авт./час)	Средняя скорость движения (км/час)	Плотность потока (авт./км)
10.00-11.00	480	540	72	6,6
14.00-15.00	500	508	68	7,3
19.00-20.00	420	440	74	5,7
Ср. знач.	466	496	71	6,5

Расчеты во время пиковой загрузки улично-дорожной сети

Время	Интенсивность потока (авт./час)	Пиковые значения интенсивности потока (авт./час)	Средняя скорость движения (км/час)	Плотность потока (авт./км)
8.00-9.00	640	720	61	10,4
12.00-13.00	584	596	63	9,26
17.00-18.00	692	716	58	11,9
Ср.знач.	639	677	61	10,52

На первом этапе моделирования были построены схемы участков дороги, на которых существует большая вероятность возникновения ДТП в условиях ограниченной видимости. Было построено две базовых модели. В одной из них моделировался разворот в условиях ограниченной видимости, в другой – выезд с местной дороги на главную дорогу. Для построенных моделей выполнялась верификация и валидация, таким образом, было подтверждено соответствие модели реальной системе [7].

Второй этап заключался в проведении серия экспериментов на построенных моделях как при исходном состоянии УДС, так и после применения различных методов повышения безопасности.

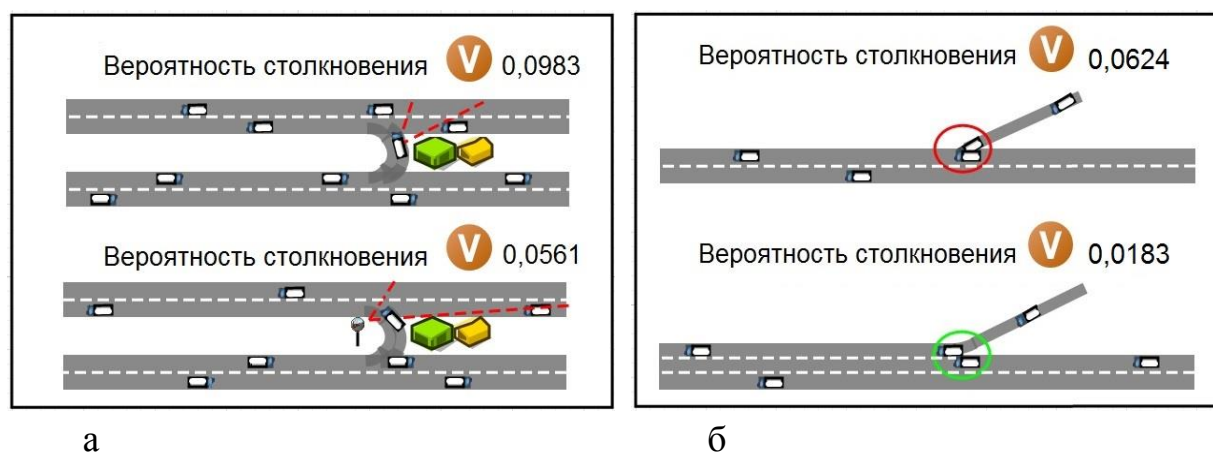


Рис. 2. Имитационная модель

Результаты моделирования показали, что наиболее эффективным методом повышения безопасности и снижения вероятности ДТП в местах с ограниченной видимостью является установка сферических зеркал.

Была рассчитана возможность снижения вероятности ДТП из-за несоблюдения очередности проезда благодаря установке сферических зеркал. Как показали расчеты, вероятность ДТП можно снизить на 43%, что состав-

вит 76 ДТП или 14,3% от всех ДТП по вине водителей. При этом общее количество ДТП может снизиться на 5,3%.

Эффект от внедрения предложенного решения выразится в:

- сокращении числа ДТП с пострадавшими количества лиц, а также сокращении числа погибших в результате дорожно-транспортных происшествий;
- повышении работоспособности городского населения;
- повышении безопасности дорожного движения;
- снижении уровня аварийности и тяжести последствий дорожно-транспортных происшествий на улично-дорожной сети города;
- снижении потерь времени транспортных средств;
- снижении потерь времени пассажиров в общественном и индивидуальном транспорте;
- повышении экологичности транспортной системы.

Применение имитационных моделей позволяет выполнить предварительную оценку различных вариантов изменения управления движением, что способствует принятию адекватных и экономически оправданных решений по повышению безопасности дорожного движения.

Литература

1. Капский Д.В., Кузьменко В.Н., Коржова А.В., Полховская А.С., Костюкович Е.Н., Мозалевский Д.В., Кот Е.Н., Разработка планировочных решений по повышению безопасности дорожного движения на магистральных улицах крупных и крупнейших городов // Вестник ХНАДУ, вып. 50, 2010, стр. 35-39.

2. PDDMASTER. Правила дорожного движения 2015 (ПДД 2015 года). URL: <http://pddmaster.ru/documents/pdd/1-obshhie-polozheniya-tekst-pdd>

3. Надзорная деятельность ГИБДД за безопасным состоянием дорог. Методические рекомендации. URL: <http://www.gosthelp.ru/text/Metodicheskierekomendacii413.html>.

4. Васильев А.П., Яковлев Ю.М., Коганзон М.С., и др . Реконструкция автомобильных дорог . Технология и организация работ : Учебное пособие / МАДИ. - М.; 1998. URL: <http://www.gosthelp.ru/text/PosobieRekonstrukciyaavto.html>.

5. Имитационное моделирование URL: <http://www.anylogic.ru/use-of-simulation>.

6. Кузьменко В.Н., Полховская А.С., Ермакова Н.С., Мозалевский Д.В. Повышение безопасности дорожного движения на нерегулируемом перекрестке в центральной части города // Современные проблемы транспортного комплекса России, № 4, 2013 стр.19-27.

7. Makarova I.V. City Transport System Improvement through the Use of Simulation Modeling System. / Irina V. Makarova, Eduard I. Belyaev, Vadim G. Mavrin, Pinar F. Suleimanov // International Journal of Applied Engineering Research, ISSN 0973-4562 Volume 9, Number 22 (2014) pp. 15649-15655.

Макарова И.В.,

д-р техн. наук, профессор,

Хабибуллин Р.Г.,

д-р техн. наук, профессор,

Габсалихова Л.М.,

канд. техн. наук, доцент,

Мухаметдинов Э.М.,

канд. техн. наук, доцент

Рынок грузовых транспортных средств на газомоторном топливе в Российской Федерации

Расширение использования газомоторного топлива и увеличение парка газобаллонных транспортных средств рассматривается правительством Российской Федерации как одно из стратегических направлений развития автомобильной, газовой и транспортной отраслей. В основе решения перевести на природный газ значительную часть общественного и коммерческого транспорта лежит экологичность, экономичность и безопасность данного вида топлива [1]. Достижение экологического эффекта, заключающегося в снижении негативного воздействия на окружающую среду, связано с активным ростом доли автотранспортных средств (АТС) на газомоторном топливе в общей численности парка. В то же время, рост численности парка таких АТС должен сопровождаться созданием и эффективным функционированием инфраструктуры, обеспечивающей их надежную и безотказную эксплуатацию, поскольку экономический эффект будет определяться снижением стоимости перевозок за счет более низкой цены газомоторного топлива по отношению к традиционным видам.

Газовая индустрия является одним из приоритетных и наиболее пер-

спективных направлений развития национальной экономики России, что напрямую влияет на развитие рынка газомоторного топлива. Природный газ в последнее десятилетие вызывает все больший интерес потребителей. Все шире применяют данный вид топлива компании, занимающиеся перевозками пассажиров и грузов, а также коммунальные и строительные. Природный газ, как моторное топливо, используется в нескольких формах: компримированный природный газ (КПГ), сжиженный природный газ (СПГ), и попутный природный газ – или сжиженный нефтяной газ (СНГ) [2, 3].

Газ в качестве моторного топлива используется уже более чем в 80 странах мира, причем наблюдается неуклонный ежегодный рост численности мирового парка газобаллонных автомобилей (ГБА). Согласно прогнозу Международного газового союза тенденция опережающего развития «газового» сегмента мирового авторынка сохранится: рост парка ГБА составит к 2020 г. 50 млн. ед., а к 2030 г. - более 100 млн. ед., потребление природного газа в качестве моторного топлива вырастет до 40÷45 млрд. м³. Перспективность данного направления для России обусловлена тем, что обладая крупнейшими запасами природного газа в мире, она пока занимает лишь 5 место в мире по числу автомобилей на СУГ (1,3 млн.) и делит 17-18 места с США по числу автомобилей на КПГ (около 100 тыс.).

Объективные предпосылки роста в последние годы интереса к газу как моторному топливу - более высокие энергетические и экологические характеристики по сравнению с нефтяными топливами. Из всех массово используемых моторных топлив и технологий природный газ обеспечивает наиболее безопасные выбросы отработавших газов, оказывает меньшее воздействие на смазочные масла (на 30-40%) [4].

Большинством известных зарубежных автопроизводителей налажен серийный выпуск более чем 180 моделей газомоторных автомобилей, среди которых 112 моделей легковых автомобилей, 35 грузовиков, 38 автобусов. Наиболее широко газомоторные автомобили представлены европейскими производителями (126 моделей). Так, компания «Скания» выиграла публичный тендер, проведенный мэрией Милана, на поставку 200 мусоровозов, 100 из которых должны использовать компримированный природный газ. Грузовики будут переданы компании Amsa S.p.A., оказывающей услуги по уборке городских улиц и вывозу мусора как в самом Милане, так и в его пригородах.

Нарастают продажи газовых автомобилей и компания Ивеко, штаб-квартира которой расположена в Италии: в 2013 году, по данным агентства Еигора Press, компания продала на испанском рынке 116 грузовиков на природном газе, что отражает 29-процентный рост относительно 2012 года [5].

Согласно данным национальной газомоторной ассоциации мировой парк газобаллонных автомобилей России составил на май 2014 г. 90 тыс. ед. (табл.1).

Таблица 1

Мировой рынок компримированного природного газа (КПГ)

Страна	Парк ГБА всего	Станции	Спрос на ПГ, млн нм ³ /год	Парк ГБА на 1 станцию
Иран	3500000	2186	5760	1601
Пакистан	2790000	2997	2949	931
Аргентина	2389570	1932	2392,56	1237
Индия	1800000	903	1958,52	1993
Бразилия	1773403	1805	1734,36	982
Италия	823000	1022	900	805
Колумбия	476506	708	540	673
Таиланд	448025	492	2210,4	911
Боливия	273342	178	315,34	1536
Армения	226800	345	318,24	657
Бангладеш	220000	585	1098,6	376
Египет	198852	172	562,2	1156
Перу	174926	231	222,72	757
Украина	170000	325	624	523
США	142000	1466	930,24	97
Германия	96349	915	276	105
Россия	90000	252	405	357

Результатом развития рынка газомоторного топлива на основе компримированного природного газа станут повышение эффективности использования энергоресурсов, снижение затрат сельхозпроизводителей, транспортных компаний, предприятий малого и среднего бизнеса и повышение доступности продукции для конечного потребителя, а также повышение конкурентоспособности российской продукции на внутреннем и внешних рынках.

Сдерживающими факторами газификации автомобильного транспорта России являются: низкое качество топлива; слабо развитая инфраструктура заправок; сложности с сервисным сопровождением; отсутствие уверенности в стабильности цен на природный газ. В настоящее время требуемое качество газомоторного топлива не обеспечивается производством, что приводит к снижению надежности и ресурса как двигателя, так и систем автомобиля. Недостаточно развитая сеть заправок – одна из главных при-

чин непопулярности газового топлива. Современные сервисные пункты зачастую не имеют специализированного оборудования по регулировке и ремонту автомобилей и двигателей, работающих на газомоторном топливе, что также является сдерживающим фактором.

Расширение масштабов применения газа в качестве моторного топлива осуществляется двумя путями: выпуск новых автомобилей, оснащенных газовым оборудованием; переоборудование имеющихся АТС, в основе которого является установка газового оборудования на автомобили. Наиболее эффективным направлением газификации автомобильного транспорта следует считать изготовление автомобилей с газовыми двигателями в заводских условиях. Для эффективного решения транспортных задач, стоящих перед российскими автоперевозчиками, производство газобаллонных автомобилей и автобусов, работающих на сжатом природном газе, освоено и ОАО «КАМАЗ». В их конструкции применены передовые технические решения, которые существенно уменьшают неблагоприятное воздействие автотехники на окружающую среду. Особенностью конструкции газовых двигателей (820.73, 820.74, 820.60, 820.61) является наличие турбонаддува, охладителя наддувочного воздуха, электронного управления и системы нейтрализации отработавших газов.

Структура объемов продаж грузовой газобаллонной автотехники КАМАЗ в России по типу кузова представлены на рисунке 1. Более 70% продаж приходится на шасси, на которые в дальнейшем будут устанавливаться надстройки: мусоровозы, вахтовые автобусы, вакуумные машины, автокраны.

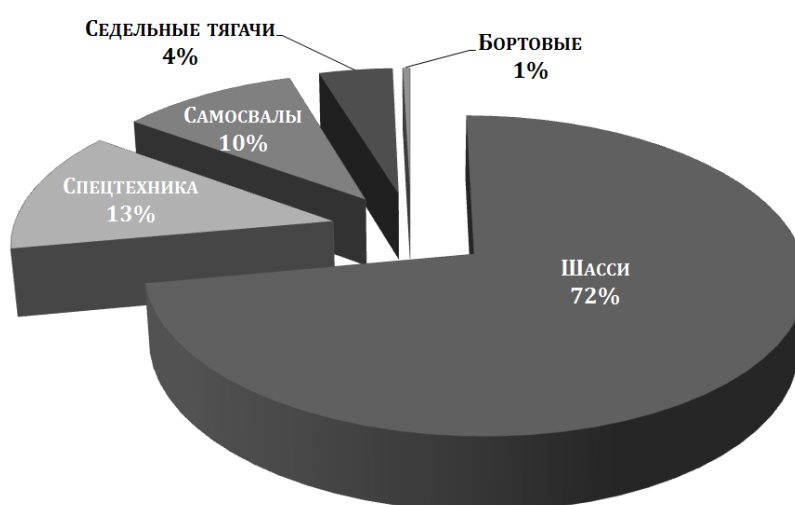


Рис. 1. Структура объемов продаж ГБА КАМАЗ по типу кузова

Потенциальные потребители грузовых ГБА (табл.2):

1. Коммерческие перевозчики, в основном использующие седельные тягачи. Данный сегмент является перспективным, позволяет значительно экономить на затратах на топливо. На сегодняшний день данное направление слабо развито из-за неразвитости заправочной инфраструктуры.

2. Пищевая промышленность и торговля. В сегменте пищевая промышленность, торговля в основном используются развозные автомобили: от легких до тяжелых. Сегмент является наиболее развитым.

3. Нефтегазодобывающая отрасль (НГДО). Основными потребителями являются нефтяники, эксплуатирующие полноприводную технику. Специально для них КАМАЗ разработал вахтовые автобусы, ремонтные мастерские и прочую технику на газобаллонных шасси. Сдерживающим фактором развития данного сегмента является слабо развитая сеть газозаправочных станций и станций технического обслуживания в условиях Сибири и крайнего Севера.

4. Коммунальное хозяйство. Газомоторные автомобили особенно актуальны для городских служб, поскольку их применение позволит улучшить экологическую ситуацию в крупных городах. Данный сегмент получил развитие благодаря государственной программе по субсидированию газовых автомобилей для коммунального хозяйства.

5. Строительство. В строительном сегменте задействованы тяжелые самосвалы и спецтехника, он пока составляет малую долю парка ГБА.

Таблица 2

Потребители ГБА

Семейство	Тип	Коммерческие перевозчики	Пищевая промышленность и торговля	Добывающие отрасли, НГДО	Коммунальное хозяйство	Строительство
Семейство магистральных автомобилей	седельный тягач	+	+			
Семейство полноприводных автомобилей	бортовой			+		
	шасси/спецтехника			+		
Тяжелые транспортные автомобили	бортовой		+			
	шасси/спецтехника		+		+	+
Легкие транспортные и развозные	бортовой	+	+			
	шасси/спецтехника	+	+		+	

Литература

1. Макарова И.В. Анализ перспектив и рисков применения альтернативных видов топлива на автомобильном транспорте / Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Габсалихова Л.М. Беляев Э.И., Валиев И.И // Мир транспорта и технологических машин. 2014. № 3 (46). С. 12-22.
2. Johnson E. 2003. LPG: A secure, cleaner transport fuel? A policy recommendation for Europe. Energy Policy 31:1573–1577.
3. Zhuang Q., Yodotani J., and Kato M. 2005. Accurate measurement method for the residues in liquefied petroleum gas (LPG). Fuel 84:443–446.
4. Макарова И.В. Перевод автотехники на газомоторное топливо: преимущества, перспективы, риски / Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Валиев И.И., Габсалихова Л.М. // Научно-информационный сборник «Транспорт, наука, техника, управление». – Москва: ВИНТИ, 2014, №1 С.52-55.
5. Европейские газомоторные новости – URL: http://www.ngvrus.ru/news/news_20140427_1.html. Дата обращения: 30.10. 2015.

Нигметзянова В.М.,

ст. преподаватель,

Галиев Р.М.,

канд. техн. наук, доцент

Опыт формирования навыков проектирования технического чертежа при преподавании дисциплины САПР в техническом вузе

Перед профессиональным техническим образованием стоят сложные задачи формирования профессиональной компетентности специалиста, обладающего различными умениями и навыками, способных обеспечивать наиболее полную реализацию профессиональных функций.

В основу данного исследования легли работы в области формирования и развития профессиональных умений (А.Р. Камалеева, С.И. Маркова, и др.), классификации профессиональных умений (Ю.К. Бабанский, А.Р. Камалеева, Г.К. Селевко, А.В. Усова, Т.Н. Шамова и др.), формированием графических умений (Б.Ф. Ломов, А.В. Савицкая и др.).

Несмотря на значительное количество работ по проблемам формирования умений и навыков, навык проектирования технического чертежа у студентов с использованием информационных технологий (ИТ) не носит систематичного и целенаправленного характера.

Такие умения, как умения выполнять чертежи по образцу, или при помощи преподавателя, относятся к умениям познавательного характера: умение самостоятельно работать с учебной и научно-популярной литературой, со справочниками и т.п.

В свою очередь приобретение умений способствует углублению и дальнейшему накоплению знаний. Совершенствуясь и автоматизируясь, умения превращаются в **навыки**. Совокупность знаний, умений и навыков обеспечивает подготовку к труду на производстве.

Умения тесно взаимосвязаны с **навыками** как способами выполнения действия, соответствующим целям и условиям, в которых приходится действовать. Но, в отличие от навыков, умение может образовываться и без специального упражнения и выполнения какого-нибудь действия. В этих случаях оно опирается на знания и навыки, приобретенные раньше, при выполнении действий, только сходных с данными. Вместе умения совершенствуются по мере овладения навыком. Высокий уровень умения означает возможность пользоваться разными навыками для достижения одной и той же цели в зависимости от условий действия. При высоком развитии умения действие может выполняться в разнообразных вариациях, каждая из которых обеспечивает успех действия в данных конкретных условиях [1].

Навыки совершенствуются по мере расширения и углубления содержания учебной образовательной работы обучающихся, повышения уровня их развития и подготовки, постепенно приближаясь к стандартам навыков (и умений) умственной (элементы исследования) и производственной (стандарты индустриальной техники, точности, аккуратности).

В своем исследовании мы используем следующие базовые признаки понятия «навык», данные А.Р. Камалеевой:

- 1) «навык – действие в результате многократного выполнения его;
- 2) автоматизированный характер этого действия;
- 3) взаимосвязь навыка ↔ умения, как автоматизированного звена этой деятельности;
- 4) навык характеризуется высокой степенью освоения» [3, С.27].

Для того, чтобы обучение в техническом вузе было успешным, необходимо вооружить студентов системой умений и навыков учебного труда – начиная от умений читать чертеж до самостоятельного планирования работы, осуществляя самоконтроль за ее выполнением и внесения последующих коррективов. От сформированности этих умений в значительной степени зависят обучаемость студентов, темпы переработки и усвоения

ими научной и технической информации и в конечном итоге качество знаний студентов.

Формирование навыков проектирования технического чертежа у студентов профиля подготовки «Автомобили и автомобильное хозяйство» начинается с геометрической подготовки, которая обеспечивается тремя учебными дисциплинами: «Начертательная геометрия», «Инженерная графика» и «Компьютерная графика».

Изучение учебной дисциплины «Начертательная геометрия» дает студентам теоретические основы геометрического моделирования, которые являются теоретической основой построения технических чертежей. Технические чертежи представляют собой полные графические модели конкретных инженерных изделий».

При изучении дисциплины «Инженерная графика» студентами приобретаются умения и навыки для изложения технических идей с помощью чертежа, а также понимание по чертежу объектов машиностроения и принципа действия изображаемого технического изделия».

Третья учебная дисциплина «Компьютерная графика» изучается студентами после овладения основ «Начертательной геометрии» и «Инженерной графики». Целью преподавания «Компьютерной графики» является освоение студентами элементарных методов и средств компьютерной графики; приобретение знаний и умений: по работе с графическим пакетом; выполнению чертежей типа «плоский контур», чертежей типовых деталей и соединений».

Следующим этапом подготовки студентов данного профиля является изучение дисциплин, направленных на получение знаний и умений, необходимых для реализации инженером еще двух вспомогательных функций - проектной и технологической. Реализация вспомогательных функций осуществляется на основе геометрической модели.

К таким дисциплинам следует отнести следующие дисциплины: «Теория машин и механизмов», «Детали машин». При изучении этих дисциплин студенты производят различные механические расчеты, наносят технологические параметры обработки изделия, на основании которых определяют различные геометрические характеристики и создают проект, содержащий геометрическую модель (чертеж) проектируемого объекта.

Согласно учебного плана, после изучения этих дисциплин, студенты приступают к изучению дисциплины «Система автоматизированного проектирования». Если учебные дисциплины «Начертательная геометрия», «Инженерная графика» и «Компьютерная графика» образуют по существу единую дисциплину, ориентированную на двухмерное геометрическое мо-

делирование трехмерных объектов, дисциплина «Система автоматизированного проектирования» (САПР) ориентирована на трехмерные геометрические модели.

По теории Н.Н. Бернштейна [2], формирование навыка, - это сложный процесс его построения; который он включает все сенсомоторные уровневые системы. Первый период построения любого навыка – его *установление*, а именно: установление ведущего уровня; определение двигательного состава движений, что может быть на уровне наблюдения и анализа движений другого человека; выявление адекватных коррекций как «самоощущение этих движений – изнутри»; переключение фоновых коррекций в низовые уровни, то есть процесс автоматизации. Второй период – *стабилизация* навыка, а именно: срабатывание разных уровней вместе; стандартизация; стабилизация, то есть «*несбиваемость*».

На лабораторных занятиях по дисциплине САПР студенты при выполнении графических работ вступают в стадию конкретных операций, а не просто действий. Операция – это приём, с помощью которого данные о реальном мире вводятся в сознание и там преобразуются в форму, подходящую для решения данной задачи. Операция отличается от простого действия двумя признаками: она интериоризована и обратима. Следовательно, формирование конкретных операций в учебной деятельности студента способствует процессу формирования целенаправленных действий – навыков.

Мы согласны с А.Р. Камалеевой [3], что для организации успешного формирования навыков весьма важно понимание внутренней структуры действия. Во всяком предметном действии выделяют два основных компонента:

- ориентировочный – отражение условий действия, на основе которых действие выполняется и при помощи которого происходит его регуляция, коррекция,
- и исполнительский – систему операций, с помощью которых производятся изменения объекта, и достигается результат.

Студент, выполняя действие (например, чертит чертеж), всегда на что-то ориентируется, чем-то руководствуется, хотя и не всегда ясно осознает это. Тип ориентировки (на что и как ориентируется студент) определяет и качество действия. Поэтому важнейшее значение при формировании навыков должно отводиться формированию ориентировочного компонента.

Возможны следующие пути формирования навыков: стихийный и планомерно управляемый. Хотя, в практике существует множество и дру-

гих путей, которые представляют собой сочетание того и другого (в равной степени).

Так, например, стихийный путь мы можем наблюдать на лабораторных занятиях по дисциплине САПР при выполнении технического чертежа в том случае, если условия правильного выполнения действия студентом не учитываются, или учитываются не полностью. Указания, которые он получает, либо не содержат всех необходимых ориентиров для действия, либо их применение не обеспечивается при выполнении задания. Недостающие ориентиры студент начинает искать в ходе упражнений, но как искать – он не знает и поэтому вступает на путь проб и ошибок; формирование навыков затягивается. В конце концов, студент достигает требуемого результата, однако этот результат обычно весьма неустойчив и при незначительных изменениях условий вновь появляются ошибки. Поиск решения через пробы и ошибки не гарантирует выделения существенных ориентиров из несущественных, поэтому у студентов нет полного понимания выполняемого действия. Этим объясняются и характерные особенности сформированного навыка: неустойчивость результата, ограниченность в переносе.

Перенос навыков – положительное влияние ранее приобретенного навыка по формированию нового. Перенос навыков выражается в том, что упражнения в одном навыке значительно облегчают и сокращают сроки сформированности другого навыка.

Зона переноса навыков не может быть широкой и распространяться далеко за границы «сходных» навыков. Мера переноса навыков определяется наличием и осознанием общих существенных признаков, выполняемых действий (общность в способе анализа заданий, планировании их выполнения, в способе их выполнения, контроля и т.п.). Чем полнее и яснее осознаются эти признаки, тем легче навык обобщается и переносится.

Например, если студент при выполнении задания по техническому чертежу не различает существенных признаков действия от несущественных, ориентируется на признаки внешние, непосредственно выступающие, а признаков существенных, как правило, скрытых, в качестве ориентиров, либо вовсе не воспринимает, либо воспринимает лишь как отдельные, разрозненные и притом не в полном составе, то в этом случае навык формируется без полного понимания и осознания действия, а поэтому перенос навыка чрезвычайно мал. В том случае, когда же студент руководствуется полной и необходимой системой ориентиров, за которыми он «видит» существенные условия выполнения задания, четко различает существенные признаки от признаков внешних, несущественных, навык формируется с

полным пониманием и осознанием выполняемого действия, возникают новые возможности для установления общности в условиях выполнения заданий, а поэтому перенос навыка осуществляется в более широком диапазоне.

В тех случаях, когда установление общности в заданиях происходит по признакам чисто внешним, перенесение старого способа выполнения действия на новое задание оказывается не отвечающим новым условиям и наблюдается отрицательное влияние ранее сформированного навыка на формирование нового (интерференция навыков). Примером такого отрицательного влияния можно наблюдать в том случае, когда студенты, не усвоившие азы построения чертежа при изучении дисциплины «Начертательная геометрия» не умеют «читать» чертежи при выполнении графических заданий дисциплины САПР, что отрицательно сказывается при выполнении задания и отставания по времени от других студентов. Это указывает на необходимость осуществления крепких междисциплинарных связей между родственными предметами (Начертательная геометрия, Инженерная графика, Компьютерная графика).

Управляемое обучение предусматривает определенную организацию действий студентов, обеспечивающую формирование навыка с желаемыми, заданными свойствами. При управляемом обучении получаются не только более высокие качества навыка, но и изменяется картина его формирования. Вместо стихийных поисков недостающих ориентиров происходит организованное, планомерное исследование данных ориентиров, выявление их значения, что дает возможность студентам правильно выполнять действие с первого же раза. Поэтому обычные пробы и ошибки исчезают, хотя вначале наблюдается выполнение действий в медленном темпе и неравномерном ритме, с задержками при переходе из одной операции к другой. Но уже отсутствие проб и ошибок ведет к значительному сокращению сроков обучения. Управляемое обучение обеспечивает разумность и сознательность действия, что ведет к формированию таких качеств навыка, как обобщенность действия, лабильность, гибкость в меняющихся условиях выполнения и вместе с тем устойчивость его результата. Практически это означает значительную широту переноса навыка, не обеспечиваемую при стихийном формировании. При этом меняется и отношение студентов к обучению: учиться становится «нетрудно» и «интересно»; вместе с формированием полноценных навыков происходит формирование и собственно познавательных мотивов.

Пример управляемого обучения можно наблюдать на лабораторных занятиях по дисциплине САПР, когда преподаватель осуществляет двойное воздействие на студентов. Первое взаимодействие связано с организа-

цией действия студента-модератора, объяснением ему правильности выполнения задания, что обеспечивает формирование навыка с желаемыми, заданными свойствами сначала у студента-модератора. Второе воздействие проявляется в том, что обученные студенты-модераторы помогают другим студентам в освоении учебного материала, формируя у них необходимые навыки. Наблюдение показало, что студентам легче подойти к любому вопросу к однокласснику, чем к преподавателю и это активизирует сам процесс обучения, увеличивается темп усвоения материала.

Таким образом, процесс формирования навыков проектирования технического чертежа у студентов идет от простого к сложному, от курса к курсу. Если на первом и втором курсах студенты приобретают первоначальные знания, умения и навыки работы с чертежом, то в процессе освоения дисциплины САПР эти знания, умения и навыки переносятся в процесс проектирования технического чертежа и трансформируются в новые обогащенные навыки - навыки построения конструкторского и технологического проектирования технических объектов, решения задач в области автоматизированного проектирования объектов, уже связанных с профессиональной деятельностью [6].

Благодаря формированию навыков достигается двойной эффект: действие выполняется быстро и точно, и происходит высвобождение сознания для освоения более сложных действий; навыки формируются в процессе обучения и подчиняются общим закономерностям процесса обучения; процесс формирования навыков технического чертежа у студентов в результате управляемого обучения – это двухпериодный процесс построения навыка от свертывания до стабилизации навыков, предполагающий перенос навыков, разработанных на предшествующих дисциплинах и использование полученных навыков технического чертежа в профессиональной деятельности в процессе работы с технической документацией.

Литература

1. Бабанский Ю.К. Оптимизация педагогического процесса / Ю.К. Бабанский, М.М. Поташник. – Киев: Рад. школа, 1982. – 198 с.
2. Бернштейн Н.Н. О построении движений. – М., 1947. – 184 с., С.174.
3. Камалева А.Р. Психолого-дидактические условия формирования умений и навыков школьников (в процессе обучения предметам естественнонаучного цикла). ТГГПУ, Казань, изд-во ООО «Вестфалика», 2006 г. - 48 с., С.27.

4. Камалеева А.Р. Самообразование как необходимое условие непрерывного образования современного человека / А.Р. Камалеева // Наука Красноярья. – 2012. – №2. – С. 203–219.

5. Ломов Б. Ф. Формирование графических знаний и навыков у учащихся Текст. / Б. Ф. Ломов; под ред. проф. Б. Г.Ананьева.М. Изд-во Акад. пед. наук, 1959.-270 с.:ил.

6. Нигметзянова В.М. Механизм формирования навыков проектирования технического чертежа у студентов технического вуза/В. М. Нигметзянова// Казанский педагогический журнал. – 2015. – №6(12). – С. 355–359.

7. Савицкая А.В. Педагогические условия развития графических умений студентов вуза: автореф. дис. ... канд. пед. наук[Текст] / А.В. Савицкая. – М., 1998. – 16 с.

8. Селевко Г.К. Современные образовательные технологии: учеб.пособие / Г.К. Селевко. – М.: Народное образование, 1998. – 256 с.

9. Усова А.В. Формирование у учащихся общих учебно-познавательных умений в процессе изучения предметов естественного цикла. Учебное пособие, Челябинск, ЧГПУ, 2002, 34 с., издание второе.

10. Шамова Т. И. Активизация учения школьников. М., 1982. с.21.

Никишин В.Н.,

д-р техн. наук, профессор,

Хлюпин В.Б.,

ст. преподаватель

Снижение выбросов оксидов азота в вихрекамерном дизеле впрыском воды во впускной трубопровод

Современные дизели с непосредственным впрыском топлива являются, как правило, весьма проблемными с экологической точки зрения. Для выполнения экологических стандартов они оснащаются дорогостоящими аккумуляторными системами топливопитания с непосредственным впрыском топлива, системами рециркуляции отработавших газов (ОГ) и впрыска раствора мочевины, каталитическими нейтрализаторами ОГ, противосажевым фильтром. В результате усложняется конструкция дизелей, что приводит к их удорожанию, повышению стоимости обслуживания и ремонта. Поэтому необходимы работы направленные на более углубленное изучение рабочих процессов, которые могли бы без существенного удорожания

дизеля удовлетворять экологическим стандартам. Одним из таких методов является впрыск воды во впускной трубопровод.

Применение выше названных систем на дизелях с непосредственным впрыском топлива позволило снизить содержание оксидов азота с 8,0 г/(кВт·ч) – уровень Евро-1 и до 3,5 г/(кВт·ч) – уровень Евро-4. Оксиды азота NO_x считаются наиболее токсичными среди нормируемых веществ. При этом многочисленные исследования по впрыску воды, проведенные на таких дизелях, показали как минимум двукратное снижение оксидов азота в ОГ [1].

На дизелях с разделенными камерами сгорания по содержанию NO_x ситуация гораздо лучше. Так без впрыска воды оценочное содержание оксидов азота в вихрекамерном дизеле составляет 5,0 г/(кВт·ч). Организация рабочего процесса в вихрекамерном дизеле с точки зрения выброса вредных веществ предпочтительнее, чем в дизеле с неразделенной камерой сгорания. Однако, исследования влияния впрыска воды во впускной трубопровод вихрекамерного дизеля на его показатели проведены недостаточно глубоко. В связи с этим представляет интерес возможный уровень снижения NO_x в исследуемом дизеле без внедрения дорогостоящих систем.

При впрыске воды в дизель наибольшее практическое применение нашли - подача водо-топливной эмульсии (ВТЭ) с помощью стандартной топливной аппаратуры, впрыск воды непосредственно в цилиндр дизеля с помощью дополнительной форсунки и подача воды во впускной трубопровод. Проблема ВТЭ заключается в создании и поддержании однородной смеси топлива и воды. Из-за разной плотности эти вещества расслаиваются, поэтому приходится либо их постоянно перемешивать, либо использовать диспергирующие присадки. Проблема впрыска воды непосредственно в цилиндр заключается в необходимости предусмотреть место для установки дополнительной форсунки в камеру сгорания. В современных головках дизелей такого места почти нет.

Поэтому наиболее доступным и эффективным оказывается впрыск воды во впускной трубопровод. При этом теоретическая проработка методики по исследованию токсичности рабочего цикла вихрекамерного дизеля с данным впрыскиванием воды недостаточно глубока.

Проведены расчетные и экспериментальные исследования на номинальном режиме при частоте вращения коленчатого вала $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ и частичном режиме $n = 900 \text{ мин}^{-1}$ [2, 3, 4]. Нагрузка в обоих режимах частичная, из-за чего температуры в цикле пониженные. Выбраны режимы с частичной нагрузкой, поскольку на них приходится 29,2 % относительного времени работы и 40 % относительного количества выбросов ОГ в город-

ском цикле. Во время разгона выброс относительного количества ОГ больше - 45%, но относительное время работы меньше - 18,5%. Температура и давление при расчете процесса сгорания определялись с шагом в 2° угла поворота коленчатого вала ($^{\circ}$ у.п.к.в.), подача воды оценивалась показателем - $w = G_{\text{вод}}/G_{\text{т}}$ - отношение массы воды к массе топлива, используемой в расчете.

Анализ зависимостей содержания оксида азота в ОГ показал, что с увеличением впрыска воды, происходит трех- четырехкратное снижение концентрации NO, в зависимости от режима (рисунок 1). Время реакции образования оксида азота τ обычно не превышает 8...10 мс, после чего количество NO фиксируется на достигнутом в ходе реакции уровне и дальше уже не изменяется. Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных выявил, что длительность реакции на режиме $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ составляет - 4,5 мс, на режиме $n = 900 \text{ мин}^{-1}$ - 6 мс.

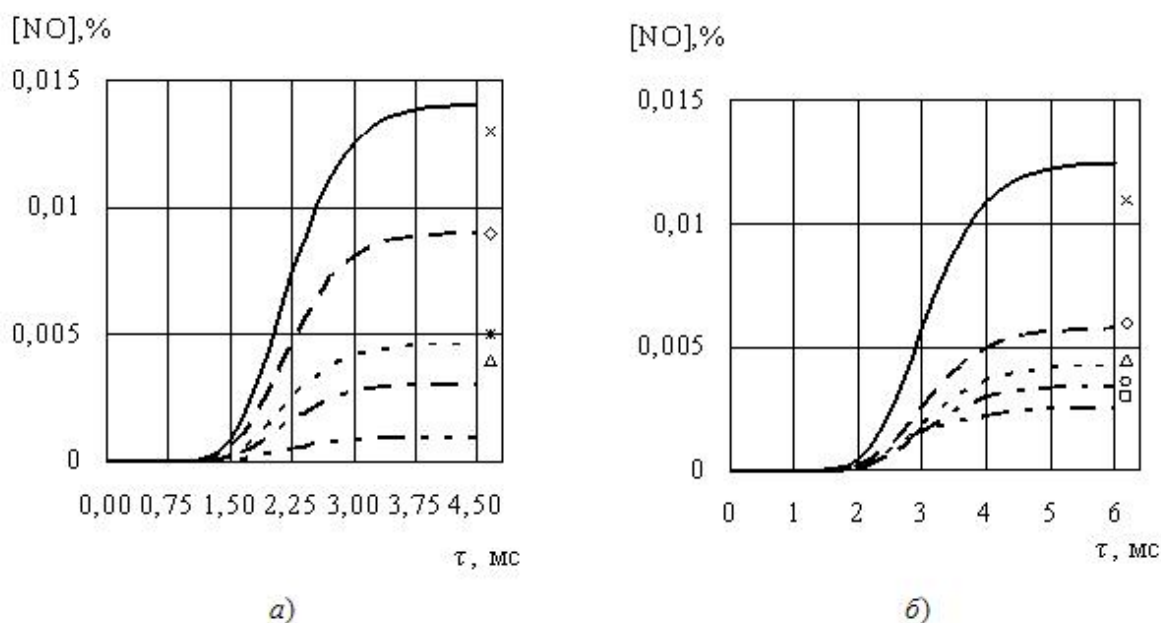


Рис. 1. Расчетные и опытные зависимости содержания оксида азота в ОГ при впрыске воды:

а) при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$;

б) при $n = 900 \text{ мин}^{-1}$;

Расчеты : — — — — $w = 0$; — — — — $w = 0,5$; - - - - $w = 1$; — - - - $w = 1,5$;

— - - - $w = 2$;

Эксперименты : \times — $w = 0$; \diamond — $w = 0,5$; Δ — $w = 1$; \ast — $w = 1,25$; \circ — $w = 1,5$; \square — $w = 2$.

Основные выводы

1. Сходимость результатов расчета и эксперимента по выбросам NO на номинальной частоте вращения коленчатого вала составила:

$$- (0,00056 \div 0,00087)\%.$$

Разброс сходимости зависит от содержания воды w.

2. Показано, что впрыск воды приводит к уменьшению выбросов оксидов азота в 3-4раза.

Литература

1. Жегалин О.И., Сайкин А.М., Френкель А.И. Снижение токсичности отработавших газов тракторных дизелей методами воздействия на рабочий процесс // Снижение токсичности отработавших газов ДВС. Сборник: Депонированная рукопись. Москва. 1983. С. 212-220.

2. Никишин В.Н., Хлюпин В.Б. Теоретические исследования дизеля с впрыском воды в воздухозаборный трубопровод // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Сборник докл. III Всероссийской науч.-техн. конф. Рубцовск. 2013. С. 42-45.

3. Никишин В.Н., Хлюпин В.Б. Анализ экологических показателей дизеля с впрыском воды во впускной трубопровод // Актуальные вопросы развития науки: Сборник докл. межд. конф. Уфа. 2014. С. 193-196.

4. Никишин В.Н., Хлюпин В.Б. Перспективы применения вихрекамерных дизелей // Актуальные научные достижения - 2014: Сборник докл. X межд. науч.-практ. конф. Прага. 2014. С. 41-45.

Нуретдинов Д.И.,

канд. техн. наук, доцент,

Набиев И.С.,

канд. техн. наук, доцент

Оценка эффективности эксплуатации автопоездов

Необходимость оценки автопоездов с разными конструктивными особенностями седельных тягачей и полуприцепов, в том числе и специализированных, определяет перспективность и актуальность данных исследований.

Одним из показателей эффективности эксплуатации транспорта является производительность, которая прямо пропорционально их грузоподъемности.

Факторами, влияющими на грузоподъемность автопоезда, являются: соответствие технических параметров седельного тягача и полуприцепа, условия перевозки, вид груза, его размеры и объем, также несущая способность автомобильных дорог.

При формировании автопоездов возникает задача максимального использования возможностей седельного тягача и полуприцепа с учетом несущей способности автомобильных дорог.

На сегодняшний день в Российской Федерации, согласно Постановлению Правительства РФ №12 от 09.01.2014, действуют требования по допустимым осевым нагрузкам АТС для автомобильных дорог, проектирование, строительство и реконструкция которых осуществлялись под нормативные осевые нагрузки АТС до 60кН/6тс, 100кН/10тс и 115кН/11,5тс [1]. Также данным нормативным документом регламентирована максимально допустимая масса автопоезда.

При выборе полуприцепа к седельному тягачу первоначально производится оценка соответствия их технических возможностей, для чего необходимо выполнить следующие действия:

- 1) определение полной массы автопоезда и сравнение его с предельно допустимой массой транспортных средств;
- 2) определение фактической нагрузки на седельно-сцепное устройство (ССУ) с учетом предельно допустимых нагрузок для осей седельного тягача;
- 3) определение фактической нагрузки на тележку полуприцепа с учетом предельно допустимых осевых нагрузок;
- 4) определение фактической грузоподъемности автопоезда и его полной массы;
- 5) определение показателей эффективности автопоезда.

В качестве показателей эффективности предлагается использовать представленные ниже коэффициенты.

Коэффициент использования грузоподъемности полуприцепа

$$\gamma = \frac{Q_{\text{фак}}}{Q_{\text{ном}}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{фак}}$ – фактическая грузоподъемность полуприцепа, т; $Q_{\text{ном}}$ – номинальная грузоподъемность полуприцепа, т;

Коэффициент использования тяговой способности седельного тягача

$$K_{\text{с.т.}} = \frac{Q_{\text{п.п.}}^{\text{фак}}}{Q_{\text{п.п.}}^{\text{max}}}, \quad (2)$$

где $Q_{п.п}^{фак}$ — полная масса полуприцепа фактическая, т; $Q_{п.п}^{max}$ — максимальная полная масса полуприцепа, которого может перевозить седельный тягач, т.

В качестве примера рассматриваются автопоезд в составе седельного тягача КАМАЗ-5490 и полуприцепа СЗАП-9328.

Технические данные седельного тягача и полуприцепа, необходимые для решения данной задачи, приведены в таблицах 1, 2, габаритные размеры седельного тягача на рисунке 1.

Таблица 1

Технические данные седельного тягача КАМАЗ-5490 [2]

Параметры	Значение
1. Колесная формула	4×2
2. Нагрузка на задний мост при полной массе, т	11,5
3. Снаряженная масса, т	7,9
4. Масса, приходящаяся на задний мост при снаряженном состоянии, т	2,6
5. Нагрузка на ССУ, т	10,55
6. Максимальная полная масса полуприцепа, т	36,1

Таблица 2

Технические данные полуприцепа СЗАП-9328 [3]

Параметры	Значение
1. Число осей	3
2. Номинальная грузоподъемность, т	26
3. Номинальная полная масса, т	34
4. Масса полуприцепа в снаряженном состоянии, т	8
5. Нагрузка на ССУ в груженом состоянии, т	11,5
6. Нагрузка на тележку в груженом состоянии, т	22,5
7. Внутренние размеры кузова с тентом	13600×2480×2710
8. Высота ССУ, мм	1100
9. Объем кузова, м ³	91

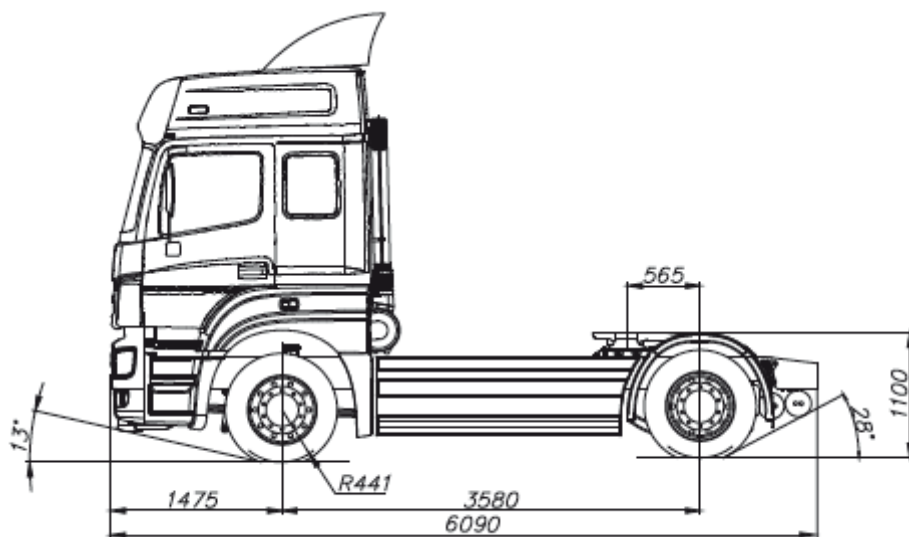


Рис. 1. Габаритные размеры седельного тягача КАМАЗ-5490 [2]

Производится расчет для категории дорог с осевой нагрузкой 10 тс.

Полная масса автопоезда (при номинальной грузоподъемности полуприцепа) определяется по формуле:

$$m_{\text{п}} = Q_{\text{ном}} + m_{\text{пол}} + m_{\text{тяг}}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{ном}}$ – номинальная грузоподъемность полуприцепа, т;

$m_{\text{пол}}$ – снаряженная масса полуприцепа, т;

$m_{\text{тяг}}$ – снаряженная масса седельного тягача, т,

$$m_{\text{п}} = 26 + 8 + 7,9 = 41,9 \text{ т.}$$

Согласно нормативам, для пятиосного автопоезда допустимая полная масса составляет 40 т. Номинальную грузоподъемность полуприцепа в данном случае полностью использовать невозможно.

Определяется фактическая нагрузка на ССУ с учетом допустимых нагрузок для осей седельного тягача. Схема действия нагрузок на седельный тягач представлена на рисунке 2.

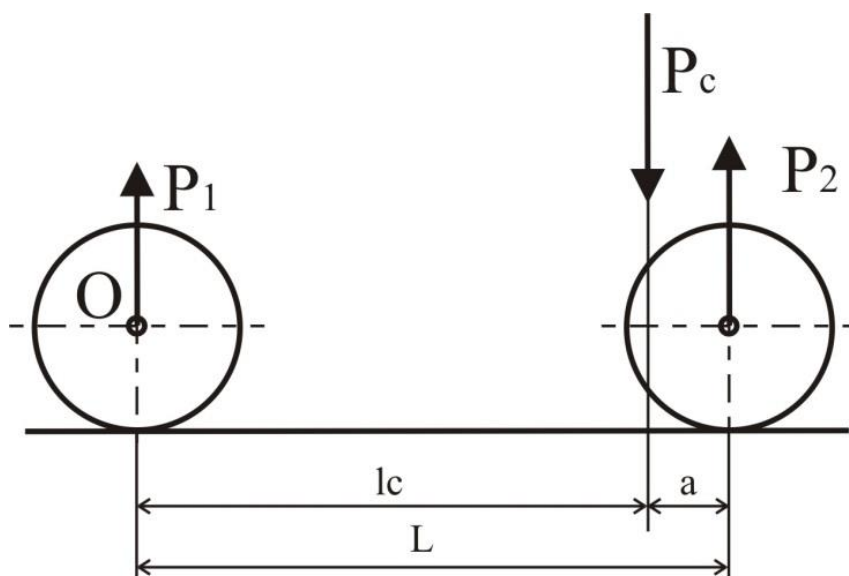


Рис. 2. Схема нагружения седельного тягача

Для определения нагрузки на ССУ составляется уравнение суммы моментов относительно точки O:

$$M(O) = -P_c \times l_c + (P_2^{\text{нор}} - m_2) \times L = 0, \quad (5)$$

где P_c – нагрузка на ССУ, т;

L – база седельного тягача;

l_c – вертикальная проекция расстояния от передней оси седельного тягача до центра ССУ, определяется как

$$l_c = L - a = 3,580 - 0,565 = 3,015 \text{ м};$$

$P_2^{\text{нор}}$ – предельно допустимая нагрузка на заднюю ось седельного тягача, принимается 10 т;

m_2 – масса, приходящаяся на задний мост седельного тягача при снаряженном состоянии (без полуприцепа).

Отсюда определяется нагрузка на ССУ:

$$P_c = \frac{(P_2^{\text{нор}} - m_2) \times L}{l_c} = \frac{(10 - 2,6) \times 3,580}{3,015} = 8,79 \text{ т}.$$

Возможная нагрузка на тележку полуприцепа определяется в зависимости от расстояния между осями полуприцепа: при расстоянии 1,31 м допустимая нагрузка на трехосную тележку составляет $P_3 = 22,5$ т.

Фактическая грузоподъемность полуприцепа

$$Q_{\text{фак}} = P_3 + P_c - m_{\text{пол}} = 22,5 + 8,79 - 8 = 23,3 \text{ т.} \quad (6)$$

Коэффициент использования грузоподъемности полуприцепа

$$\gamma = \frac{23,3}{26} = 0,896.$$

Коэффициент использования тяговой способности седельного тягача

$$K_{\text{с.т}} = \frac{31,3}{36,1} = 0,867.$$

Как видно, для данного автопоезда показатели имеют приемлемые значения.

Сегодня в нашей стране достаточно большую долю имеют перевозки легких (объемных) грузов. Определяем насколько эффективно использование данного автопоезда при перевозке данного вида груза.

При расчетах принимаем плотность груза 115 кг/м^3 . Фактическая грузоподъемность составит $Q_{\text{фак(л)}} = 10,46 \text{ т.}$

Показатели эффективности автопоезда в данном случае

$$\gamma_{(л)} = \frac{10,46}{26} = 0,402; \quad K_{\text{с.т.(л)}} = \frac{18,46}{36,1} = 0,51.$$

Для легких грузов целесообразнее использовать полуприцепы увеличенного объема. Рассмотрим использование полуприцепа Тонар-974612, объем которого составляет 116 м^3 . Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Показатели эффективности эксплуатации автопоездов

Автопоезд	Груз	Показатели			
		$Q_{\text{фак}}$	γ	$Q_{\text{п.п}}^{\text{фак}}$	$K_{\text{с.т.}}$
1. КАМАЗ-5490 с полуприцепом СЗАП-9328	обычный	23,3	0,896	31,3	0,867
	объемный	10,46	0,402	18,46	0,51
2. КАМАЗ-5490 с полуприцепом Тонар-974612	обычный	23,3	0,97	31,3	0,98
	объемный	13,34	0,56	21,52	0,59

После выбора полуприцепа по техническим параметрам необходимо оценить автопоезд также по экономическим показателям: себестоимость перевозки и удельные затраты топлива.

Представленная методика дает возможность оценить фактическую производительность автопоездов, повысить эффективность их использования, выбрать рациональный подвижной состав для конкретных маршрутов.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 09.01.2014 №12 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам перевозки тяжеловесных грузов по автомобильным дорогам Российской Федерации».

2. www.kamaz.ru.

3. www.szap.biz/ СЗАП-9328.

Фролов А.М.,

канд. техн. наук, доцент,

Шакуров Д.К.,

канд. техн. наук, доцент

Нагрузочные режимы легкового автомобиля при различной интенсивности движения в г. Набережные Челны

Эксплуатация автомобилей осуществляется в очень разнообразных условиях, определяющих широкий диапазон изменения параметров и режимов работы его основных агрегатов.

Для исследования изменения нагрузочных режимов при различной интенсивности движения был выбран автомобиль ВАЗ 2115 экологического класса – евро 2 (контроллер Январь 7.2 Е2). Для регистрации режимов движения автомобиля использовался современный адаптер КР-2Е (рисунок 1), соединенный сетевым кабелем с ноутбуком. Для регистрации и записи информации, используемой контроллером в процессе управления двигателем, применялось программное обеспечение МТ-10 (ПО МТ-10).



Рис. 1. Основные элементы адаптер KR-2E

Для регистрации режимов движения автомобиля диагностический разъем адаптера присоединялся к диагностической колодке автомобиля, устанавливалась связь между адаптером и ПО МТ-10.

ПО МТ-10 позволяет диагностировать работу электронной системы управления двигателем, а также позволяет регистрировать параметры с последующей конвертацией полученной информации в формат электронной таблицы MS Excel.

ПО МТ-10 позволяет вести запись по 42 основным показателям. Для регистрации движения были выбраны 5 показателей, создан «Набор» ПО МТ-10 из следующих показателей:

- время (t), мс;
- частота вращения коленчатого вала (FREQ) мин⁻¹;
- положение дроссельной заслонки (THR), %;
- скорость автомобиля (JSPEED), км/час;
- время открытого состояния бензиновой форсунки (INJ), мс.

Частота регистрации показателей 5 Гц (рисунок 2).

	A	B	D	E	G
1					
2	Январь 7.2 E2			15,17	
3	максимум	2920	26	63	8,89
4	минимум	480	0	0	0
5	Время (мс)	FREQ (об/мин)	THR (%)	JSPEED (км/час)	INJ (мсек)
42	7217	1480	14	21	5,71
43	7418	1560	17	22	6,56
44	7618	1600	19	23	6,57
45	7819	1680	20	23	6,55
46	8019	1760	21	24	6,48
47	8220	1800	23	24	6,78
48	8420	1880	24	26	6,82
49	8621	1960	25	26	6,76
50	8821	2000	25	28	6,73
51	9022	2080	25	28	6,7
52	9222	2160	25	30	6,54
53	9422	2240	25	30	6,59

Рис. 2. Фрагмент регистрации параметров движения автомобиля на контрольном участке

Регистрация режима движения автомобиля осуществлялась с остановочного пункта общественного транспорта (ПОТ) г. Набережные Челны «проспект Яшьлек» и заканчивалась ПОТ «Поликлиника №2». Режимы исследовательских заездов приведены в таблице 1.

Учитывались следующие режимы движения:

- разгон и установившееся движение, с учетом номера передачи выбранной водителем на коробке передач (условия $INJ>0$; $THR>0$; $JSPEED>0$);
- движение накатом (условия $INJ>0$; $THR=0$; $JSPEED>0$);
- движение в режиме «торможения двигателем» (условия: $JSPEED>0$; $INJ=0$; $THR=0$);
- остановка автомобиля (условия $INJ>0$; $THR=0$; $JSPEED=0$)
- режим буксования сцепления
(условия $INJ>0$; $THR>0$; $|JSPEED_{расч} - JSPEED| < 1,4$ м/с).

Таблица 1

Режимы исследовательских заездов

П/п	Время начала движения	Время окончания движения	Итоговое время в пути, с
1.	08 ⁵⁰	09 ¹⁴	1440
2.	12 ⁵⁰	13 ¹²	1295
3.	16 ⁵⁰	17 ²¹	1867

Скорость автомобиля расчетным путем можно получить из выражения [1, С.12]:

$$JSPEED_{расч} = \frac{2\pi \cdot FREQ \cdot r_d}{60 \cdot u_{гп} \cdot u_i}, \text{ м/с} \quad (1)$$

где r_d – динамический радиус колеса (для упрощения расчетов принят $r_d = \text{const} = 0,285$ м);

$u_{гп}$ - передаточное отношение главной передачи, $u_{гп} = 3,9$;

u_i - передаточное отношение i передачи, $i=1...5$ ($u_1 = 3,636$; $u_2 = 1,95$; $u_3 = 1,357$; $u_4 = 0,941$; $u_5 = 0,784$).

Интенсивность движения регистрировалась в одном направлении движения потока транспортных средств на ПОТ: «Проспект Яшьлек» (ПОТ ПЯ), «Электротехников» (ПОТ Э), «Поликлиника №2» (ПОТ П№2).

Для регистрации использовалась видеокамера, запись производилась в течение 30 мин. Обработка результатов велась воспроизведением видеозаписи и подсчетом количества автомобилей пересекших контрольный участок дороги. Регистрация интенсивности движения проводилась в 09⁰⁰, 13⁰⁰, 17⁰⁰ 14.09.2016.

Удельная интенсивность движения (уровень интенсивности по одной полосе дороги) определялась:

$$T = \frac{\sum N_{ATC}}{t_{рег} \cdot n_{п}}, \text{ авт/час} \quad (2)$$

где N_{ATC} - количество транспортных средств, пересекших контрольную точку (габаритные размеры транспортных средств не учитывались), ед;

$t_{рег}$ – время регистрации, час;

$n_{п}$ – количество полос движения, шт.

Таблица 2

Удельная интенсивность движения в контрольных точках исследования

П/п	Время регистрации	Интенсивность движения, АТС/час		
		ПОТ ПЯ	ПОТ Э	ПОТ П№2
1.	09 ⁰⁰	1090	1170	1320
2.	13 ⁰⁰	810	910	1240
3.	17 ⁰⁰	1480	1540	1850

Полученные результаты представим в виде диаграммы (рисунок 3).

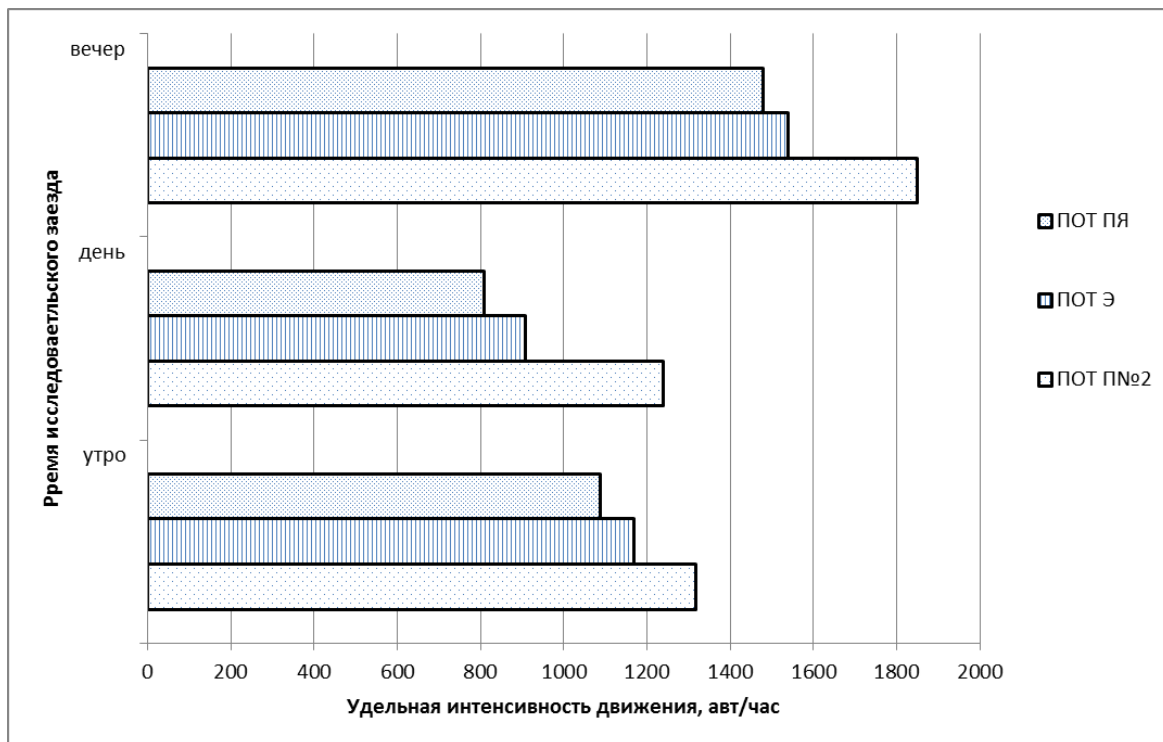


Рис. 3. Сравнительный анализ изменения удельной интенсивности движения на контрольных участках исследования

Обработывая полученную информацию о режимах движения автомобиля средствами MS Excel были получены следующие диаграммы (рисунок 4, рисунок 5).

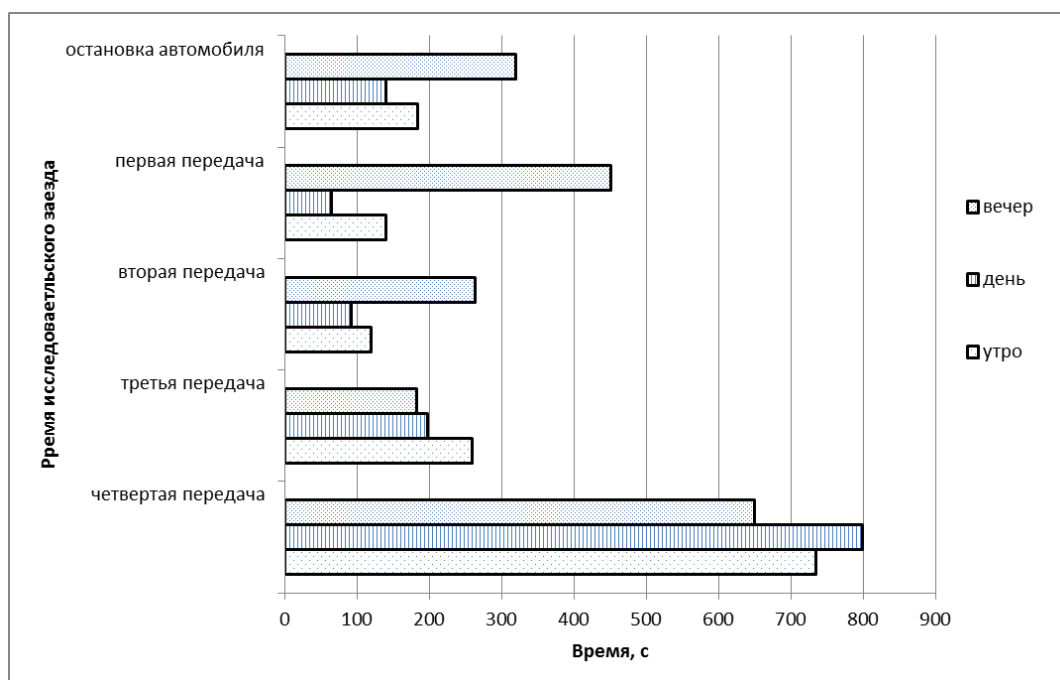


Рис. 4. Изменение времени движения на различных передачах и времени остановки автомобиля в зависимости от различной интенсивности движения

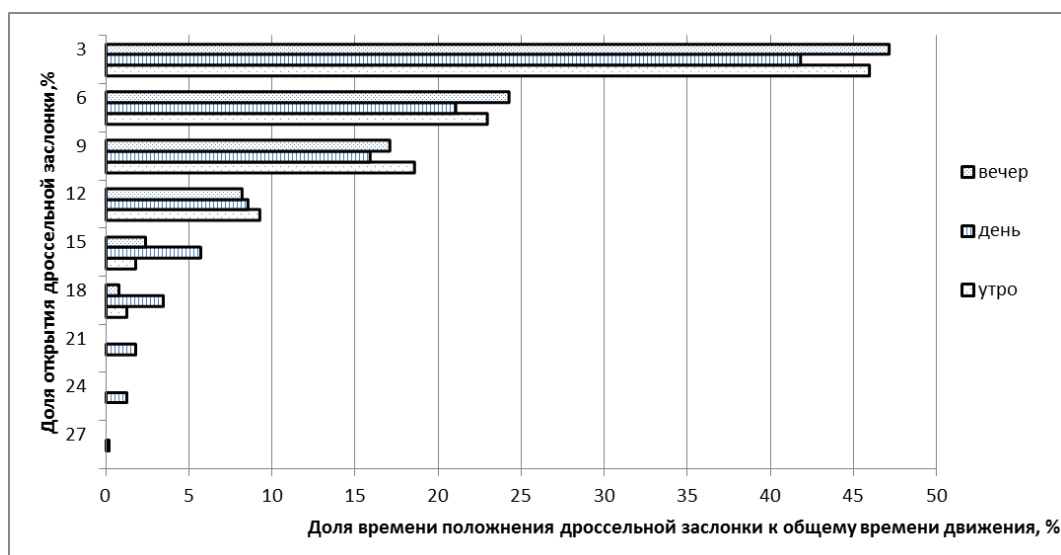


Рис. 5. Изменение доли времени положения дроссельной заслонки к общему времени движения в зависимости от различной интенсивности движения

Анализируя полученные диаграммы можно отметить, что с увеличением интенсивность движения, изменяются режимы движения автомобиля: уменьшается доля движения на высших передачах коробки передач, увеличивается доля нахождения автомобиля в неподвижном состоянии, значение доли открытия дроссельной заслонки уменьшается.

Литература

1. Гришкевич А.И. Автомобили: теория: учебник для вузов. – Мн.: Высш. Шк. 1986. – 208 с.

Цыбунов Э.Н.,
канд. техн. наук, доцент

Выбор схемы привода адаптивного электровелосипеда

Электрический велосипед или электровелосипед представляет собой конструкцию, которая состоит из велосипеда, электрического двигателя с системой управления (контроллер) и источника питания.

Велосипеды сами по себе могут иметь различные компоновки и конструкции. Отличия между ними зависят от назначения и условий эксплуатации. В общем случае велосипеды можно разделить на двухколесные, трехколесные, городской велосипед, шоссейный, горный, тулинг, треко-

вый, гибридный, детский, велосипед для триала и фристайла, грузовые велосипеды с кузовом, велорикши, тандемы и т.п.

Электровелосипед обладает рядом преимуществ над городскими видами транспорта. Отсутствуют загрязнения атмосферы в сравнении с автомобилями, оборудованными ДВС. В сравнении с легковыми автомобилями эксплуатация электрических велосипедов требует во много раз меньше расходов. Он позволяет преодолевать крутые подъёмы и значительные расстояния физически неподготовленным людям. При разряде аккумуляторной батареи можно использовать педальный привод. Заряд аккумуляторов осуществляется от бытовой электросети. При сопоставимой скорости в городских условиях, энергетические и экономические затраты на перемещение одного человека оказываются на порядок более низким, чем у любого другого вида транспорта, включая общественный [1].

Конструкция электровелосипеда обладает рядом недостатков. Педальное и управление затруднено большой инерцией электровелосипедов вследствие большей массы. Следствием несовершенства современных аккумуляторов является малый запас хода на электроприводе, длительное время зарядки аккумулятора, а также короткий срок службы аккумуляторных батарей. Высокая стоимость готового изделия и его эксплуатации по сравнению с обычным велосипедом.

В общем случае электровелосипеды можно разделить на:

Собранные промышленно. Для таких электровелосипедов характерны специальные рамы, разработанные для крепления батарей (включая внутреннее расположение аккумуляторов), а также специальные конструкции колёс и в целом специфический дизайн.

Самостоятельно собранные (любительские) электровелосипеды - в своей основе обычные велосипеды с установленными на них компонентами, доступными на рынке. На сегодняшний день в продаже имеются самые разнообразные готовые комплекты (двигатели, контроллеры, аккумуляторы, зарядные устройства), которые позволяют желающему владельцу велосипеда с небольшой технической подготовкой собрать электрический велосипед.

Электродвигатель в качестве силовой установки обеспечивает полное или частичное замещение силовой тяги велосипедиста. Электродвигатели, устанавливаемые на велосипед, имеют мощность от 0,2 до 5 кВт и могут быть выполнены отдельным агрегатом или совмещаться с колесом, с редуктором или без редуктора. На рисунке 1 а, г и д представлены компоновки с задним приводом, б и е – с передним и в – полноприводная компоновки электровелосипеда.

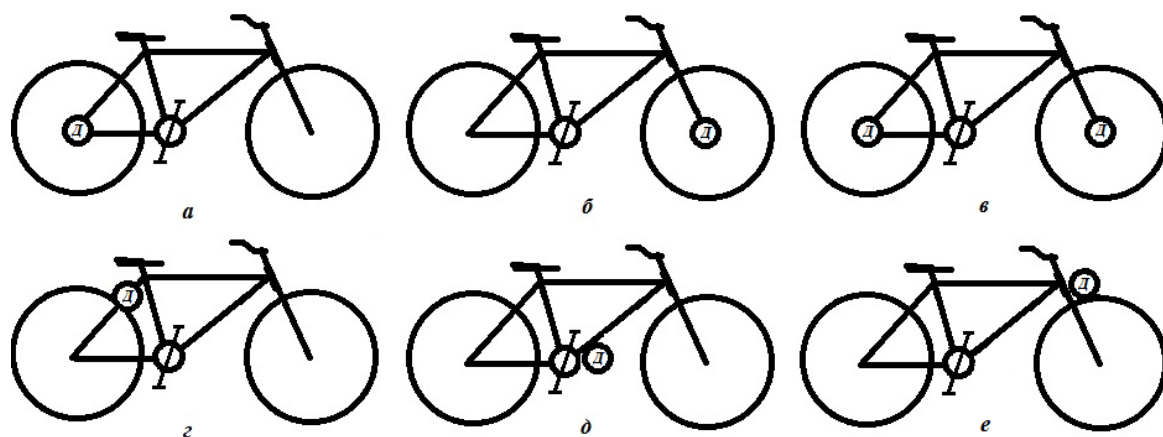


Рис. 1. Компоновки электровелосипеда

На сегодняшний день, существуют четыре типа привода, применяемые в электровелосипедах: Мотор-колесо; Цепной привод; Ременный привод; Комбинированный; Фрикционный.

Самый распространённый вариант велосипедного электропривода на основе бесколлекторного электродвигателя постоянного тока. Двигатель вмонтирован в колесо вместо ступицы. Мотор-колесом может быть любое из колес или оба одновременно. Часто мотор-колесо продаётся в уже собранном (заспицованном) виде.

Преимущества использования мотор-колеса: гармонично вписывается в дизайн любого велосипеда; бесшумная работа электродвигателя; переделка обычного велосипеда с помощью мотор-колеса требует минимальных усилий. К недостаткам можно отнести: существенное утяжеление колеса велосипеда; при переоборудовании обычного велосипеда в электрический остается неиспользуемое колесо; при превышении определенной скорости мотор-колесо начинает работать как генератор, вызывая торможение велосипеда.



Рис. 2. Мотор-колесо

В качестве элемента передающего крутящий момент от электродвигателя к ведущему колесу может использоваться как собственная – велосипедная приводная цепь, так и дополнительная. Из преимуществ цепного электропривода можно выделить надежность, меньший вес двигателя и аккумуляторов, рассчитанных на меньшее напряжение, более высокая максимальная скорость, возможность использовать систему переключения передач велосипеда, что повышает КПД. К недостаткам можно отнести более сложную конструкцию, установку комплекта и необходимость использования специального инструмента, шума, издаваемые электродвигателем и цепью.



Рис. 3. Цепной привод

Ременная передача, это передача механической энергии при помощи гибкого элемента – приводного ремня, за счёт сил трения или сил зацепления (зубчатые ремни). К достоинствам ременной передачи относится плавность работы, бесшумность, компенсация неточности установки шкивов редуктора, особенно по углу скрещивания между валами, вплоть до применения передачи между перемещаемыми валами, компенсация перегрузок (за счет проскальзывания), сглаживание пульсаций как от двигателя, так и от нагрузки, отсутствие необходимости в смазке, низкая стоимость деталей, лёгкий монтаж, возможность получения регулируемого передаточного отношения (вариатор).

Достоинства в сравнении с цепной передачей:

Возможность работы на высоких окружных скоростях;

при обрыве ремня прочие элементы привода не повреждаются, и шкивы вращаются свободно (а при обрыве цепи она часто складывается, повреждая кожух и блокируя приводной вал).

Достоинства в сравнении с зубчатой передачей:

возможность передачи движения между валами, находящимися на значительном расстоянии друг от друга.

Недостатки ременной передачи:

большие размеры (для одинаковых условий нагружения диаметры шкивов почти в 5 раз больше, чем диаметры зубчатых колёс);

малая несущая способность;
малый срок службы (в пределах 1000—5000 часов);
проскальзывание (за исключением зубчатых ремней);
повышенная нагрузка на валы и их опоры, что связано с необходимостью достаточно высокого предварительного натяжения ремня;
наличие дополнительных элементов (для натяжения ремня и гашения колебаний длинной ветви и удержания ремня на шкивах).

Зубчатые ремни включают в себя достоинства как ременных передач (бесшумность, простота конструкции и обслуживания), так и цепных передач (постоянство передаточного отношения, большая нагрузочная способность по сравнению с «обычными» ременными передачами).



Рис. 4. Ременный привод

Комбинированный позволяет совместить достоинства и недостатки описанных выше приводов. К достоинствам можно отнести возможность увеличения передаточного числа. К недостаткам – сложность конструкции, большая масса и стоимость, сложность установки и обслуживания.



Рис. 5. Комбинированный привод

Смысл фрикционного привода заключается в передаче крутящего момента с вала двигателя непосредственно на покрышку велосипеда.

Из преимуществ фрикционного привода можно выделить относительно дешевизну, достаточно простую конструкцию и установку такого привода, так как нет необходимости разбирать велосипед. Главным же минусом является низкий КПД. Также к минусам следует отнести быстрый износ покрышки, необходимость поддерживать определенное давление внутри колеса, проскальзывание ролика в мокрую погоду.



Рис. 6. Фрикционный привод

Определение потребной мощности электродвигателя

Определение мощности электродвигателя предлагается проводить для полностью загруженного электровелосипеда при максимальной скорости его движения и без тяговой силы велосипедиста.

Для этого необходимо рассмотреть схему сил действующих на электровелосипед при его движении (рис.7). К центру тяжести сведены вес электровелосипеда с велосипедистом и грузом $G_{э}$, силы инерции P_j и сопротивления воздуха P_v . В плоскости дороги действуют силы тяги P_T и сопротивления качению колес P_{fa} и P_{fb} .

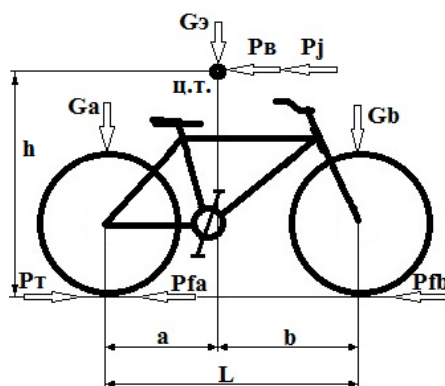


Рис. 7. Силы, действующие на электровелосипед

Тяговый баланс:

$$P_{сц} \geq P_T \geq P_v + P_j + P_{\psi}, \quad (1)$$

где $P_{сц}$ – сила сцепления ведущего колеса, Н;

P_{ψ} – сила сопротивления дороги, Н;

Сила сцепления ведущего колеса:

$$P_{\text{сц}} = G_a \cdot \varphi, \quad (2)$$

где G_a – вес, приходящийся на ведущее колесо велосипеда, Н;
 φ – коэффициент продольного сцепления колеса с опорной поверхностью.

Сила сопротивления воздуха:

$$P_B = \frac{C_x \cdot \rho_v \cdot F \cdot V^2}{2}, \quad (3)$$

где C_x – коэффициент лобового сопротивления;

ρ_v – плотность воздуха, кг/м³;

F – площадь миделя, м²;

V – скорость движения велосипеда, м/с.

Сила инерции:

$$P_j = G_{\text{э}} \cdot j, \quad (4)$$

где j – ускорение электровелосипеда, м/с².

Сила сопротивления дороги:

$$P_{\psi} = P_f + P_i, \quad (5)$$

где P_f – сила сопротивления качению колес, Н;

P_i – сила сопротивления подъему, Н.

Сила сопротивления качению колес:

$$P_f = G_{\text{э}} \cdot f \cdot \cos \alpha, \quad (6)$$

где f – коэффициент сопротивления качению колес;

α – угол подъема дороги, град.

Сила сопротивления подъему:

$$P_i = G_{\text{э}} \cdot \sin \alpha, \quad (7)$$

С учетом формул (6) и (7) выражение (5) примет вид:

$$P_{\psi} = G_{\text{э}} \cdot f \cdot \cos \alpha + G_{\text{э}} \cdot \sin \alpha = G_{\text{э}} \cdot (f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (8)$$

Таким образом, силу тяги на ведущем колесе можно определить по следующей формуле:

$$P_T = 0,5 \cdot C_x \cdot \rho_B \cdot F \cdot V^2 + G_9 \cdot (j + f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (9)$$

Определение крутящего момента на валу электродвигателя при максимальной скорости, Н·м:

$$M_{v \max} = \frac{(0,5 \cdot C_x \cdot \rho_B \cdot F \cdot V_{\max}^2 + G_9 \cdot f) \cdot r_k}{U_{\text{пр}} \cdot \eta_{\text{пр}}}, \quad (10)$$

где $U_{\text{пр}}$ – передаточное число привода;

r_k – радиус качения колеса, м;

$\eta_{\text{пр}}$ – КПД привода.

Значение максимального крутящего момента электродвигателя двигателя по его характеристикам:

$$M_{v \max} = 9554 \cdot \frac{N_{v \max}}{n_v}, \quad (11)$$

где $N_{v \max}$ – максимальная мощность электродвигателя, кВт;

n_v – обороты вала электродвигателя, об/мин;

Передаточное число привода определяется из условия обеспечения отсутствия буксования:

$$U_{\text{пр}} = \frac{\varphi \cdot G_a \cdot r_k}{M_{v \max} \cdot \eta_{\text{пр}}}, \quad (12)$$

Литература

1. Shreya, Dave (February). «Life Cycle Assessment of Transportation Options for Commuters.
2. <http://epowerbikes.ru/>
3. <http://geektimes.ru/post/257986/>
4. <http://velokits.com/articles/e-bike.php>

Оптимизация управления автобусным транспортом в городе Набережные Челны с использованием современных методов моделирования

Органы городского управления во всем мире применяют различные инструменты и стратегии для повышения эффективности своих транспортных систем и качества жизни. Поскольку транспортная инфраструктура является одной из наиважнейших составляющих развития городов, необходим комплексный подход к решению задачи оптимизации ее развития и функционирования. Такой подход невозможен без использования информационных технологий для автоматизации управления дорожным движением, а значит, создание интеллектуальных транспортных систем (ИТС) на сегодняшний день становится первоочередной задачей и даже системной стратегией.

По мнению Кравченко П.А. [1] системы управления должны обеспечивать автоматическую идентификацию ДТП (их фиксацию), слежение за состоянием дорожного покрытия (образование снежных заносов, гололеда), контроль процесса перемещения (соблюдение водителями скоростных режимов, а также режима труда и отдыха водителей), а также предоставлять водителям оперативную информацию об условиях движения, о возможных заторах на запланированном маршруте и т.д.

Таким образом, задача ИТС – сбор информации (о загруженности дорог, параметрах ТП, авариях и условиях для осуществления движения ТС и т.д.), ее последующая обработка и формирование рекомендаций. Поэтому необходимым условием создания систем управления движением является формирование стратегических концепций, комплекса моделей управляемого объекта и основанных на них алгоритмов переработки информации и принятия управленческих решений [2].

Основные теоретические и практические аспекты автоматизации управления транспортным комплексом изучались и нашли отражение в работах различных авторов. К основным направлениям научных исследований стоит отнести:

- системы управления транспортными потоками города путем внедрения «умных светофоров» и информационных табло;
- системы подбора оптимального парка подвижного состава (ПС);

- системы маршрутизации.

Каждая из научных работ направлена на решение отдельных аспектов существующей проблемы. Однако, комплексный подход может быть реализован лишь при создании полноценной ИТС, состоящей из:

- датчиков и видеокамер, установленных на всех элементах транспортной системы (ПС ГПТ, индивидуальные ТС, остановочные пункты, въезды/съезды на участках УДС и т.д.) для сбора актуальной и полной информации;
- интеллектуального ядра для анализа и оценки данных с последующей выработкой рекомендаций;
- средств, оказывающих управляющие воздействия («умные светофоры», информационные табло, многопозиционные знаки, автоматизированное составление расписания ГПТ, перенаправление ПС ГПТ по альтернативным маршрутам и т.д.).

В настоящее время в России развитие и внедрение ИТС ведется по четырем основным направлениям:

- разработка различными предприятиями и организациями собственных моделей ИТС;
- адаптация зарубежной и отечественной радиоэлектронной аппаратуры к собственным моделям;
- предоставление локальных услуг (в основном мониторинга и дистанционной охраны автотранспорта);
- продажа бортовых комплексов сухопутной навигации и комплектующих [3].

Как указывает руководитель группы государственных программ IBM в России и СНГ Владимир Чернецкий [4], на улицах Стокгольма существует и показывает свою эффективность интеллектуальная информационная система, которая позволяет автоматически регулировать плотность транспортного потока.

С января 2007 года московские власти ввели на территории города интеллектуальную систему управления движением, которая работает на основе беспроводной связи. В электронном журнале «Вокруг света» [5] описана система, разработанная компанией Synterra по заказу Департамента транспорта и связи, предназначенная для анализа транспортной ситуации и управления светофорами и световыми табло. Система позволяет менять длины фаз светофора в зависимости от состояния очередей на подъездах к перекрестку. Длины накопленных очередей оцениваются при помощи телекамер и программных средств анализа изображений.

Группа разработчиков компании ООО «Малленом» предлагает интеллектуальную систему управления дорожным движением, предназначенную для постоянного мониторинга транспортных потоков и управления режимами работы светофорных объектов на основе прогноза развития транспортной ситуации.

Проект ИТС получил наиболее активное развитие в г. Дубна Московской области, где был создан Телематический Оператор Интеллектуальной Транспортной Системы – региональный диспетчерский центр компании «М2М телематика», основная функция которого заключается в предоставлении услуг мониторинга и управления транспортом коммерческим и муниципальным заказчикам города на базе информационно-аналитического центра [6].

В настоящее время в городах и регионах России внедряются автоматизированные системы диспетчерского управления пассажирским транспортом на базе спутниковой навигации: региональные навигационно-информационные системы (РНИС). Результатом масштабного внедрения этой системы в регионах стало оснащение более 24 тыс ТС бортовым оборудованием в 95 городах России [7].

Представители НП ГЛОНАСС и консалтинговой компании Strategy Partners говорят о таких показателях эффективности использования спутниковых навигационных технологий на транспорте, как повышение производительности труда (на 30%), сокращение расходов на ремонт ТС (до 10%) и сокращение расходов на топливо (от 15 до 30%) [8].

Кроме того, внедрение перспективных технологий, основанных на применении спутниковых навигационно-связных систем, позволяет перевозчику отслеживать соблюдение графика перевозки (для грузового транспорта) и соблюдение расписания движения (для городского пассажирского транспорта), тем самым повышая качество и эффективность обслуживания.

Однако, поскольку на сегодняшний день обязательному оснащению бортовым навигационно-связным оборудованием подлежат только автомобильные и железнодорожные транспортные средства, используемые для перевозки пассажиров, специальных и опасных грузов [9], нельзя говорить о том, что существующие РНИС обеспечивают диспетчерские центры полной информацией об интенсивности движения транспортных потоков. Кроме того, функционирование системы управления автобусным транспортом города невозможно без данных о потребностях населения в перемещении. Поэтому многие российские и зарубежные ученые в своих трудах рассматривают иные пути повышения качества и безопасности городских пассажирских

перевозок: перераспределение транспортных потоков путем совершенствования маршрутной сети ГПТ и управление структурой парка ПС ГПТ.

Одной из важнейших задач, которая должна быть решена в сфере управления городскими автобусными перевозками, является проблема соответствия возможностей маршрутной сети потребностям населения. Для решения задачи транспортной маршрутизации (Vehicle Routing Problem – VRP) применяются эвристические методы, которые, однако, не гарантируют нахождение оптимального решения. Учитывая этот недостаток, рядом авторов были предложены методы, позволяющие объединить гибкость эвристики и строгость моделей линейного программирования для решения каждого класса задач маршрутизации.

Поскольку маршрутная сеть общественного транспорта города представляет собой сложную систему, а ее оптимизация – сложная многопараметрическая задача, то научно-обоснованное решение при ее разработке и корректировке требует, наряду с натурными исследованиями и экспериментами, моделирования процессов с помощью математического аппарата [10].

Однако, следует иметь в виду, что получение аналитического решения с помощью математических моделей, применяемых для описания многопараметрических процессов в многофункциональных системах может потребовать значительных ресурсов. При решении такого класса задач более рационально использование имитационных моделей транспортных систем, поскольку они могут применяться многократно для определения оптимального состояния исследуемых систем при разных значениях параметров [11].

Таким образом, для оптимизации функционирования городского пассажирского транспорта г. Набережные Челны необходимо разработать такую интеллектуальную систему управления, которая будет одновременно учитывать данные о спросе населения на перевозки и информацию об интенсивности движения ТС на участках улично-дорожной сети (УДС). Концептуальная модель предлагаемой системы представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Концептуальная модель системы управления городским автобусным транспортом

Разработанная система позволяет выявить так называемые «узкие места», нуждающиеся в оптимизации, а также может быть использована для проверки предлагаемых изменений маршрутов и структуры парка ПС.

Литература

1. Кравченко П.А. Инновационные технологии для сферы обеспечения БДД – не дань моде, а остро востребованный инструмент решения сложных хозяйственных задач. // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сборник докладов конф. – СПб, 2010.

2. Методическое руководство по стратегии управления транспортными потоками в системах автоматизированного регулирования движения на автомобильных магистралях (АРДАМ). Утверждено ГИПРОДОРНИИ, протокол № 2 от 28.03.80. – М.: 1980.

3. Урличич Ю. Формирование и развитие ИТС в России – необходимый элемент инновационного развития. // Вестник Конгресса ИТС России. – 2010. – № 1 – с. 2.

4. Люльчак Е. Муравьиные правила [Электронный ресурс] // РБК daily – ежедневная деловая газета. URL:

<http://www.rbcdaily.ru/2009/04/06/cnews/409208>. Дата обращения 6.4.2009.

5. Хабибуллин М. Транспортный коллапс в Москве неотвратим [Электронный ресурс] // Вокруг света: электрон. журн. URL: <http://www.vokrugsveta.ru/telegraph/auto/440/>. Дата обращения 6.4.2009.

6. Официальный сайт ХК «М2М телематика». – URL: <http://m2m-t.ru/news/?id=963>. Дата обращения 6.4.2009.

7. РНИС бюджетно-дефицитных регионов [Электронный ресурс] – URL: <http://www.itpskov.ru/rnis-regionov/>. Дата обращения 6.7.2015.

8. Системы спутникового мониторинга транспорта на основе ГЛОНАСС [Электронный ресурс] – URL: <http://space-team.com/monitoring-transporta/>. Дата обращения 6.7.2015.

9. Постановление Правительства Российской Федерации №641 от 25.08.2008 г. «Об оснащении транспортных, технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS» [Электронный ресурс] – URL: <http://www.rg.ru/2008/09/03/glonass-dok.html>. Дата обращения 6.7.2015.

10. Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Шубенкова К.А. Оптимизация маршрутной сети пассажирского транспорта с помощью транспортной модели города // Мир транспорта и технологических машин. – Орел: Госуниверситет-УНПК, №3(50), 2015. – С. 103–114.

11. Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Шубенкова К.А., Мелькова В.А. Обеспечение надежного и безопасного функционирования транспортной системы города путем интеллектуализации процессов управления // Мир транспорта и технологических машин. – Орел: Госуниверситет-УНПК, №3(34), 2011. – с.63-72.

СЕКЦИЯ «ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ» ПРОЦЕССОВ

Валиахметов Р.Р.,

канд. техн. наук, доцент

Система поддержки принятия решения при выборе или разработке технологической оснастки

Выпуск различных модификаций изделий, введение новой продукции ведет за собой изменение номенклатуры выпускаемых на предприятии деталей. Внедрение новой детали в производство неразрывно связано с такими процессами как выбор заготовки, подбор оборудования, приспособлений и инструментов.

При этом внедряемая деталь может незначительно отличаться от уже существующей в производстве. И не всегда технолог, берущийся за проработку нового технологического процесса имеет представление о уже существующем ТП.

Первое с чего начинается ТП это получение заготовки для детали, исходя из её геометрической формы принимаются базы для первичных и окончательных операций, определяющих точность получаемых размеров и выполнение требований к качеству обрабатываемых поверхностей. Получаемая в результате обработки деталь может быть разбита на группы геометрических элементов, получаемых в результате различных операций. Эти элементы характеризуются размерами, точностью и шероховатостью поверхности, исходя из этих параметров выбирается метод обработки и инструмент.

Имея информацию об аналогах детали можно в автоматическом режиме подобрать варианты уже существующей оснастки к схожим элементам новой детали.

Исходя из этого в базу данных оснастки необходимо вносить информацию о приспособлениях с привязкой не только к детали, но и к её геометрическим элементам, а соответственно операциям и используемым инструментам. На предприятиях ОАО КАМАЗ изготовлением одних и тех же или схожих деталей могут заниматься, как разные цеха, так и разные заводы. Соответственно разработка новой оснастки конструкторами осуществляется по различным техническим заданиям. Отследить которые может

лишь человек, отдающий их на разработку – начальник конструкторской службы, лишь исходя из собственного опыта и хорошей памяти. При хорошем исходе проектирование новой оснастки достанется, тому же конструктору, который разрабатывал предыдущую, аналогичную конструкцию, что позволит сократить время разработки, за счет унификации приспособления и применения уже существующих элементов (деталей) аналога. В противном случае другой конструктор будет разрабатывать новую конструкцию исходя из собственного опыта и возможно предложенных технологом аналогов (рисунок 1).

ИС оснастки позволит подбирать не только аналоги, но и предложит конструктора имеющего опыт создания подобных приспособлений. Имея аналог можно не разрабатывать техническую документацию полностью, а унифицировать отдельные детали и узлы, заимствовать их из других проектов. Полное описание назначения, размеров и прочих признаков деталей входящих в различные приспособления, позволит упростить поиск и применение их в новых конструкциях. Бывают случаи, когда приспособление применяется в различных местах производства, и изменение одной из операций требует доработки конструкции. Доработка может быть полезной для других мест применения приспособления или отрицательной. Поэтому изменение конструкции приспособления требует ознакомления со всеми вариантами его применения, что должно быть отображено в сопроводительной информации к приспособлению.

Таким образом ИС оснастка объединяет таких пользователей как: инженер-конструктор изделия, инженер-технолог разрабатывающий ТП и сопровождающий это изделие и инженер-конструктор проектирующий оснастку для оснащения ТП (рисунок 2).

Введение в систему нового изделия (детали) инициируется разработчиком изделия и в его же обязанности входит описание этой детали, незначительную часть в это описание вносит технолог исходя из его видения процесса обработки – последовательность операций и базирование.

При наличии оснастки на схожие детали она может быть предложена ИС технологу как уже существующее оснащение или как аналог.

Следующая стадия работ это выпуск технического задания на проектирование недостающей оснастки, технолог определяет оборудование на котором будет применено данное приспособление, для обработки каких элементов оно будет применяться (выполнение каких операций), рекомендует конструктору аналоги и базирование для выполнения операции.

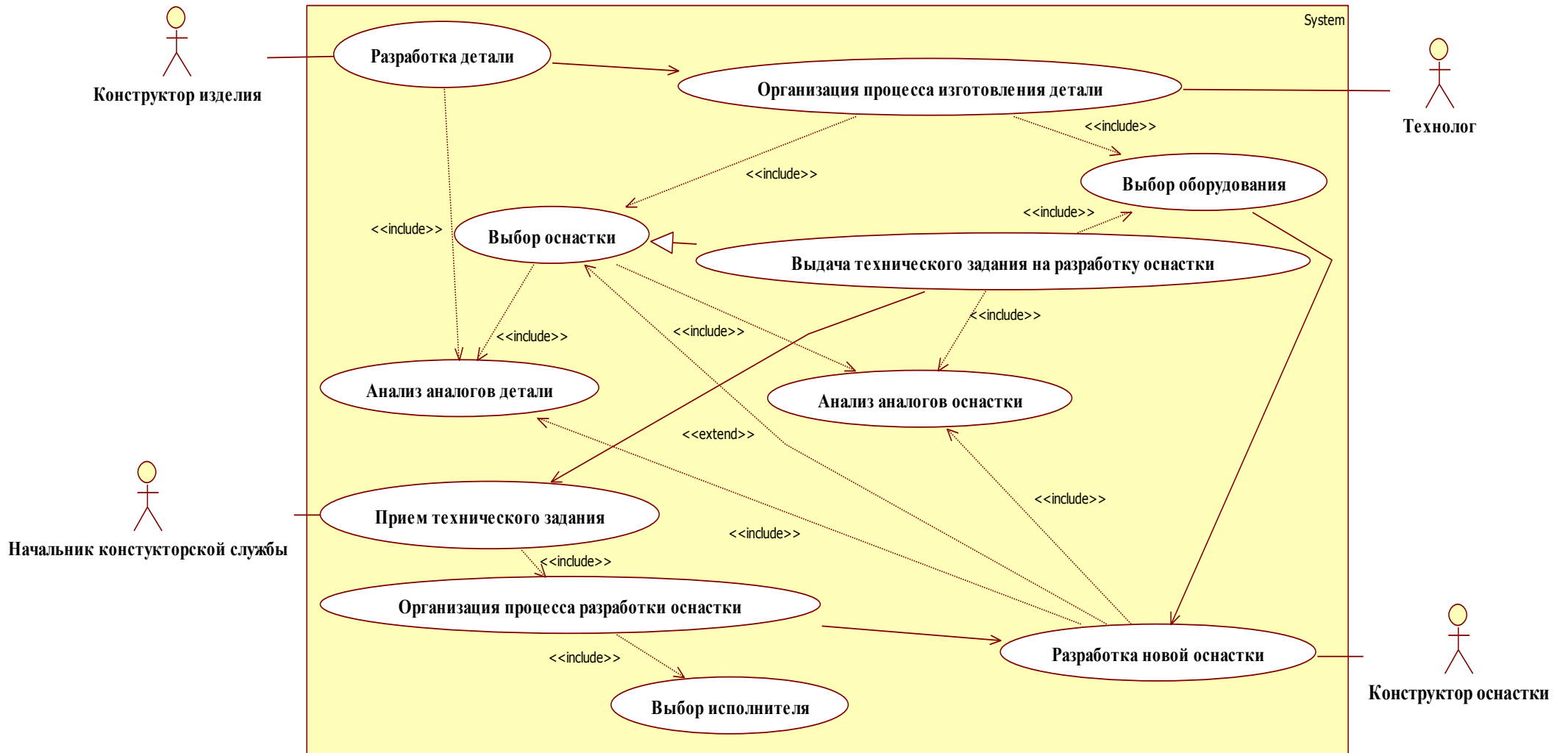


Рис. 1. Организация работ по разработке и внедрению в производство новой детали

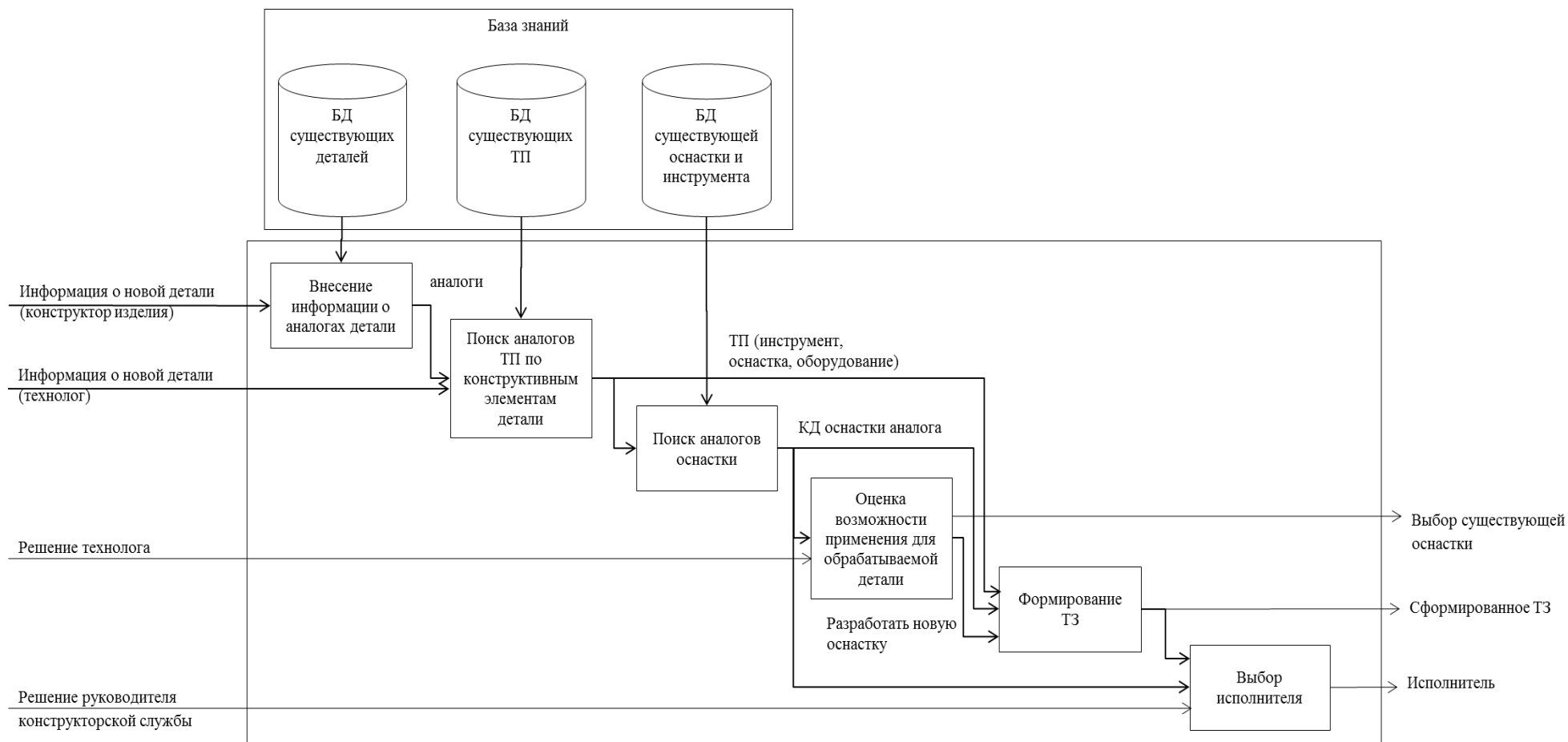


Рис. 2. Схема работы системы поддержки принятия решения

Начальник конструкторской службы согласует выданное задание. В случае наличия аналога разрабатываемого приспособления необходимо уточнить его конструктора-разработчика, для рассмотрения возможности передачи ему на разработку нового технического задания, учитывая его опыт полученный при разработке предыдущего приспособления и возможности унификации отдельных узлов и деталей или создания универсального приспособления, рассмотреть вариант использования уже существующего приспособления на предлагаемом оборудовании, тем самым сокращая сроки формирования конструкторской документации. Либо при отсутствии данного разработчика рассмотреть альтернативные варианты, непосредственный начальник или другой конструктор каким либо образом связанный с исходным приспособлением или аналогичной деталью.

Информационная система включает базу знаний содержащую информацию о сущностях: приспособление, детали, станок, инструмент, оснастка, детали приспособления, технологический процесс и техническое задание (рисунки 3).

Детали
- наименование
- группа
- номер чертежа
- исполнение
- изменение
- семейство (однотипные по конфигурации детали)
- геометрические элементы (для обработки)
- базовые элементы
- порядок операций

Технологический процесс
- обрабатываемая деталь
- оборудование
- инструмент
- оснастка
- технолог

Станок
- модель
- модификация
- габариты рабочей области
- тип крепления на рабочем столе.

Инструмент
- наименование
- обозначение
- определяющие размеры

Оснастка
- наименование
- обозначение
- назначение
- габариты
- определяющие размеры

Техническое задание
- назначение (Обрабатываемая деталь)
- назначение (Станок)
- назначение (Вид обработки)
- назначение (Обработка геометрических элементов детали)
- тип установки (вертикально, горизонтально, на приспособление, в шпиндель, прочее)
- аналоги
- технолог

Приспособление
- обозначение
- наименование
- назначение (Обрабатываемая деталь)
- назначение (Станок)
- назначение (Вид обработки)
- назначение (Обработка геометрических элементов детали)
- тип установки (вертикально, горизонтально, на приспособление, в шпиндель, прочее)
- размеры стыкуемой поверхности (на станок)
- размеры под базируемую деталь
- количество баз
- типы баз
- вид крепления (механическое-ручное, пневматическое, гидравлическое)
- детали приспособления
- предприятие проектировщик
- конструктор
- предприятие изготовитель
- используемый совместно инструмент
- используемая совместно оснастка
- инвентарный номер

Детали приспособления
- наименование
- номер чертежа
- исполнение
- изменение
- назначение
- уникальность
- габаритные размеры
- определяющие размеры
- материал
- обработка
- точность размеров (кавалитет)
- точность поверхностей (допуски)
- качество поверхности (шероховатость)

Рис. 3. Сущности базы данных

Используя технологию СППР технолог получает возможность подбора существующей оснастки для изготовления нового изделия, а в случае отсутствия приемлемых вариантов автоматизировать формирования технического задания на разработку, с возможностью привлечения к работе опытных специалистов, предоставив им полную информацию о наличии применяемой оснастки, оборудовании и наличии аналогов.

Разработка методики испытаний двигателей внутреннего сгорания на базе нейросетевого метода

Рост энерговооруженности всех отраслей промышленности во всем мире вызвал широкое развитие двигателестроения, в том числе и производства двигателей различных типов, в связи с чем проблема их совершенствования приобретает большое значение [1, с.440].

Решение проблемы совершенствования в большей степени зависит от соответствия процесса впрыска топлива рабочему процессу, происходящему в двигателях. Для постоянного управления и контроля процессом работы ДВС необходимо внедрение контроллера. Электронный блок управления позволяет обеспечивать управление соленоидами насос-форсунок. Он контролирует и обрабатывает различные входящие сигналы измерительных датчиков. Основными данными являются частота вращения коленчатого вала двигателя и нагрузка, на которые водитель может оказывать непосредственное влияние посредством педали газа. Контролируемые параметры также включают температуру воздуха, топлива, охлаждающей жидкости и давление турбокомпрессора [2, с.138]. Эти основные функции могут дополняться разнообразием других операций, предназначенных для повышения удобства. Контроллер должен удовлетворять строгим требованиям надежности работы компенсацией и выявлением неисправностей функционирования отдельных составных частей. Он также предназначен для облегчения диагностики неисправностей работы двигателя и его системы топливоподачи.

Для проверки качества сборки и проведения испытания ДВС, оборудованных электронным контроллером, необходимо внедрение на заводе-производителе технического комплекса, обеспечивающего автоматическое управление технологическими режимами работы ДВС [3, с.15125].

Данные системы обеспечивают выполнение следующих функций:

- работа в темпе протекания технологических процессов (в режиме реального времени);
- осуществление автоматического контроля и управления ходом технологического процесса испытаний ДВС;
- оформление протоколов технического контроля и отчетов о выполнении производственной программы;

– реализацию задаваемой циклограммы технического контроля для каждого типа ДВС;

– предупреждение нештатных и аварийных ситуаций при испытаниях ДВС.

Функции, выполняемые системами испытаний ДВС:

- проверка работоспособности датчиков первичных параметров;
- проверка работоспособности исполнительных механизмов;
- проверка корректности алгоритмов регулирования;
- проверка наличия и достоверности информационных сообщений;
- регистрация отказов программно-технических средств;
- распознавание отказов, не выявленных автоматически;
- анализ журнала отказов программно-технических средств;
- контроль правильности функционирования программно-технических средств.

Скорый прогресс программного обеспечения и его стремительное проникновение почти во все области деятельности человека особенно заметны на примере автомобильной промышленности. В настоящее время в авто-электронике происходит эволюционное развитие к различным проблемам, что даёт основание для предположения о рождении революционных инженерных разработок уже в скором будущем.

Интегральные микросхемы на полупроводниковых элементах совершили революцию в автомобилестроении, особенно в управлении автомобильными агрегатами и автомобилем в целом [4, с.298]. Сейчас нигде в мире не выпускается ни одного автомобиля без электронных приборов. Основные из них – регуляторы напряжения, устройства управления трансмиссией, впрыском топлива, тормозной системой, рулевым управлением, подвеской.

Все электронные блоки по функциональному назначению могут быть классифицированы на три основные системы управления: двигателем; трансмиссией и ходовой частью; оборудованием салона.

В настоящее время в мире разработано и серийно выпускается большое разнообразие систем управления двигателями. Эти системы по принципу действия имеют много общего, но и существенно отличаются. По назначению они бывают монофункциональные и комплексные. В комплексных системах один электронный блок управляет несколькими подсистемами: впрыска топлива, зажигания, фазами газораспределения, самодиагностики и др. В монофункциональных системах ЭБУ подает сигналы только системе впрыска. По распределению топлива различают многото-

чечный и центральный впрыски. При многоточечном впрыске установлено по одной форсунке на каждый цилиндр, а при центральном имеется одна форсунка на все цилиндры.

Кроме того, различие состоит и в способе впрыска. Впрыск может осуществляться постоянно и импульсами. При постоянной подаче топлива его количество изменяется за счет изменения давления в топливопроводе, а при импульсном – за счет продолжительности импульса и его частоты. Таким образом, за один впрыск может быть подана полная порция топлива или ее часть (обычно половина). Если за каждый оборот коленчатого вала осуществляется один впрыск топлива в каждый цилиндр, такой впрыск называется синхронным.

Комплексная система управления двигателем обеспечивает оптимальную его работу путем управления впрыском топлива, углом опережения зажигания, частотой вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу и проведения диагностики.

Обновление оборудования современных автомобилей можно показать в виде многих маленьких, быстро следующих друг за другом шагов, причём зачастую это совершенно не грозит авто-производителям дополнительными финансовыми затратами на электронику [5, с. 3866]. В настоящее время электроника всё шире используется, в том числе, и для управления сгоранием топлива в двигателях внутреннего сгорания, в устройствах слежения за состоянием отдельных систем и устройств, для управления исполнительными устройствами и тому подобными.

В настоящее время на новые разработанные модели автомобилей дополнительно начали устанавливать абсолютно нестандартные штатные автоматизированные системы, к ним относится автоматическая система помощи с программным обеспечением, включающая в себя: спутниковую навигационную систему; звуковые и радарные системы защиты автомобиля угона и столкновений; системы повышения комфорта и безопасности людей в салоне; система круиз-контроля и т.д.

В это же время проводятся поиски наиболее оптимальных автоматических технологий обработки сообщений в бортовых автоматизированных системах. Разработаны и нашли применение иногда называемые «лингвистические функциональные преобразователи», работающие с нечеткими подмножествами лингвистических переменных, выраженных отдельными словами или целыми предложениями на естественном (английском) или искусственном (компьютерном) языке. При некотором усложнении логических и арифметических операций в микро-ЭВМ это обеспечивает повышение корректности и адекватности (быстроты) обработки сообщений си-

стемы. Поэтому, значительно усложнился интерфейс и возникла необходимость в ведении CAN- протокола в мультиплексную систему [6, с. 1440].

Применение электронной системы управления двигателем имеет следующие преимущества:

- обеспечивается оптимальная подача топлива в двигатель на всех эксплуатационных режимах, в результате чего уменьшается расход топлива при сохранении динамических характеристик автомобиля;

- в связи с более полным сгоранием топлива, а также использованием катализатора уменьшается выброс вредных веществ вместе с выхлопными газами;

- так как электронная система управления двигателем определяет и записывает в память неисправности, значительно ускоряется поиск и обнаружение неисправностей;

- система управления двигателем на всех эксплуатационных режимах устанавливает оптимальный угол опережения зажигания, момент и количество подаваемого в двигатель топлива. Также система управления двигателем взаимодействует с другими системами автомобиля, в частности, с системой управления автоматической коробкой передач или с противотуманной системой.

Компоненты системы управления двигателем очень надежны и практически не требуют обслуживания [7, с. 22]. При техническом обслуживании необходимо только производить замену воздушного фильтра и свечей зажигания. Так как для проверки, регулировки и ремонта системы управления двигателем необходимо использовать сложное дорогостоящее оборудование, то эту работу необходимо производить на специализированной станции технического обслуживания.

Создание автоматизированной системы осуществляется на базе объектно-ориентированного подхода. Преимущество данного подхода заключается в интерфейсе для загрузки проекта испытаний и поддержание протокола обмена данными OBD-II между электронным блоком управления MS-6.1 фирмы «Bosch». Исходный текст программы разрабатывается на базе языка программирования Visual C++ [8].

Для создания структуры модели проекта необходимо определить исходную структуру процесса испытаний, отображающую схему работы автоматизированной системы испытаний (рисунок 1), а также установить функциональные особенности заданных режимов.

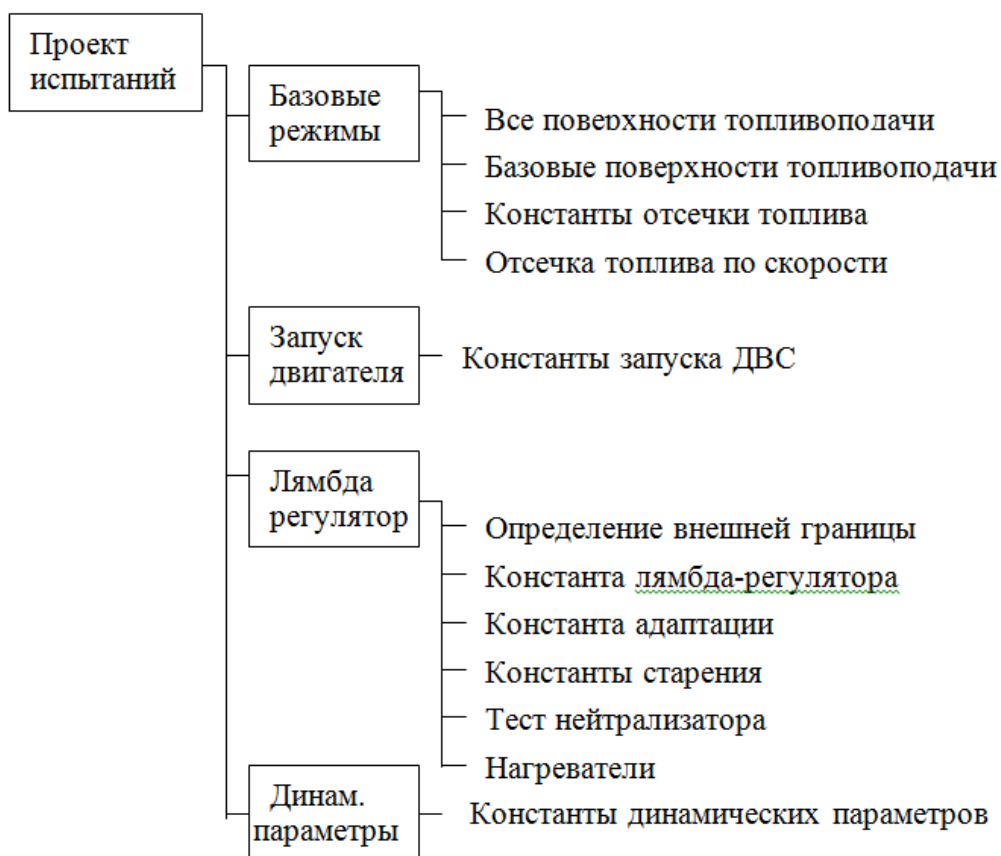


Рис. 1. Структура проекта

Во время проведения испытаний вся информация сохраняется в память ЭБУ в виде таблицы, структура которой представлена в таблице 1.

Таблица 1

Сводная таблица параметров

№ п/п	Параметр 1	Параметр 2	Параметр 3	...	Параметр m
1	A11	A21	A31	...	Am1
2	A12	A22	A32	...	Am2
3	A13	A23	A33	...	Am3

S	A1S	A2S	A3S	...	AmS

где:

A_{ij} – значение параметра ДВС;

m – количество измеряемых параметров;

S – число контрольных точек замеров в процессе испытания.

Для более точного выбора режимов испытания необходимо учитывать основные характеристики ДВС, требующие особого контроля. При испытаниях ДВС необходима проверка следующих параметров:

- текущие параметры топливоподачи;
- регулирование холостого хода;
- функциональность датчика надува воздуха;
- переход топливной смеси из режима бедной в насыщенную.

На основании изложенного можно сделать заключение что, разработанная система испытаний позволяет эффективно производить испытания автомобиля на базе контроллера фирмы Bosch MS-6.1. Особый интерес представляет возможность сравнения соответствия текущих параметров полученных в результате испытаний с параметрами заданными в конструкции ДВС и автомобиля в целом.

Литература

1. Galiullin L.A., Zubkov E.V. Hybrid Neural Network for the Adjustment of Fuzzy System when Simulating Tests of Internal Combustion Engines //Russian Engineering Research. - 2011. - Vol. 31, № 5. - pp. 439-443.

2. Galiullin L.A. Automated test system of internal combustion engines (2015) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 86 (1), art. no. 012018.

3. Valiev R.A., Galiullin L.A., Dmitrieva I.S., Ilyukhin A.N. Method for complex web applications design (2015) International Journal of Applied Engineering Research, 10 (6), pp. 15123-15130.

4. Yao, Z.T. Pan H.X. Engine fault diagnosis based on improved BP neural network with conjugate gradient (2014) Applied Mechanics and Materials, 536-537, pp. 296-299.

5. Galiullin L.A. An Adaptive Neural Network for Diesel Engines Testing «Computer Systems Aided Science, Industry and Transport», Transcomp — XIV International Conference (Zakopane, 6.XII-9.XII 2010, Poland) – 2010. – PP. 3861-3867.

6. Shatnawi Y., Al-Khassaweneh, M., 2014. Fault diagnosis in internal combustion engines using extension neural network. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 61 (3), art. no. 6511979: 1434-1443.

7. Нечеткая нейро-сетевая модель управления дизелем при испытаниях Тракторов и сельхозмашины. – 2011. – №12. – С. 21-23.

8. Галиуллин Л.А., Зубков Е.В., 2011. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №20111614373 «Автоматизированная информационная система «Испытания дизельных двигателей внутреннего сгорания на базе нечеткой нейронной сети»». М.: Роспатент.

Грудцына Л.Ю.,
ст. преподаватель,
Мышкина И.Ю.,
ст. преподаватель

Анализ продолжительности поиска работы среди безработных с помощью деревьев классификации

В современном мире сокращение безработицы и достижение эффективной занятости являются одними из ключевых задач социально-экономического развития.

Государственная политика в области содействия занятости включает в себя формирование действующих служб занятости населения, которые реализуют активные программы занятости, выплаты пособий, создание дополнительных рабочих мест для безработных и т.д. Эти меры направлены не только на обеспечение социальной защиты безработного населения, но и на создание условий для эффективного использования трудовых ресурсов региона.

Проблема управления трудовыми ресурсами на уровне служб занятости на сегодняшний день является актуальной. Бесспорно, эффективное управление занятостью подразумевает сокращение сроков поиска работы для безработных. При правильном выборе активных программ занятости (АПЗ), таких как профобучение / переобучение, повышение квалификации, социальная адаптация, психологическая поддержка и др., шансы найти подходящую работу для каждого конкретного безработного гражданина повышаются. В статье [1] авторами был предложен метод подбора АПЗ в зависимости от потенциала трудоустройства (востребованности) и степени мотивации к трудовой деятельности. Однако при составлении индивидуальной программы АПЗ для безработного гражданина, специалист службы занятости, действуя как эксперт, оценивает целую совокупность факторов, включающих и факты биографии, и историю профессиональной деятельности. Тем самым специалист проводит оценку продолжительности пребывания своего клиента в статусе безработного.

В данной статье рассматриваются возможности применения метода деревьев классификации для анализа и прогнозирования продолжительности поиска работы в зависимости от индивидуальных характеристик безработного.

Пусть имеются данные:

- множество клиентов (безработных) $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$.
- множество характеристик $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N, y\}$, определяющих портрет безработного гражданина, где $x_i, i = \overline{1, N}$ - независимые переменные, y - зависимая переменная (см. таблицу 1).

- множество оценок характеристик клиентов $\{x_i(c_j)\}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, m}$.

Требуется на основе оценок характеристик клиента определить значение зависимой переменной $y(c_j), j = \overline{1, m}$ т.е. оценить возможный срок пребывания в статусе безработного.

Таблица 1

Переменные, определяющие портрет безработного

	Наименование переменной	Возможные значения	Шкала измерения	Роль
1	Возраст	количество лет	количественная	входная
2	Пол	0 -женский, 1 -мужской	номинальная	входная
3	Уровень образования	1 -среднее общее, 2 -начальное проф., 3 -среднее проф., 4 -высшее проф.	порядковая	входная
4	Опыт профессиональной деятельности	количество лет	количественная	входная
5	Наличие квалификации в смежных профессиях	0 -нет, 1 -да	номинальная	входная
6	Профессиональная востребованность	1 -низкая, 2 -средняя, 3 -высокая	порядковая	входная
7	Отсутствие длительных перерывов в работе	0 -нет, 1 -да	номинальная	входная
8	Нечастые изменения видов трудовой деятельности	0 -нет, 1 -да	номинальная	входная

9	Ограничения на трудовую деятельность по здоровью	0-нет, 1-да	номинальная	входная
10	Мотивация к труду	1-низкая, 2-средняя, 3-высокая	порядковая	входная
11	Предыдущие обращения в службу занятости	количество обращений	количественная	входная
12	Длительность пребывания в безработице	1-не более 1 мес., 2-не более 4 мес., 3-более 4 мес.	порядковая	целевая

В качестве метода решения поставленной задачи предлагается использовать метод деревьев решений CHAID.

1 шаг. Подготовка обучающей выборки – примеров, содержащих наборы конкретных значений переменных:

$$\{x_1(c_j), x_2(c_j), \dots, x_N(c_j), y(c_j)\}, j = \overline{1, V}, \text{ где } V - \text{ объем выборки.}$$

2 шаг. Выделение множества значимых входных переменных. Для этого оценивается влияние каждой входной переменной на целевую переменную: проверяется гипотеза о независимости двух переменных по критерию хи-квадрат [2].

Составляется таблица сопряженности для входной и целевой переменной, элемент которой n_{ij} , $i = \overline{1, K}$, $j = \overline{1, M}$ представляет собой число случаев одновременного наблюдения i категории входной и j категории целевой переменной. Вычисляются ожидаемые (в случае независимости)

количества наблюдений $\tilde{n}_{ij} = \frac{\sum_{m=1}^M n_{im} \cdot \sum_{k=1}^K n_{kj}}{n}$, n – общее число наблюдений.

Вычисляется статистика критерия хи-квадрат: $\chi_0^2 = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^M \frac{(n_{ij} - \tilde{n}_{ij})^2}{\tilde{n}_{ij}}$. Если

$\chi_0^2 > \chi_{\min}^2$, то считается, что связь между переменными существует, причем тем сильнее, чем больше χ_0^2 .

3 шаг. Из множества независимых переменных выбирается имеющая наибольшее значение χ_0^2 . По этой переменной производится разбиение множества примеров. Текущий узел разбивается на несколько дочерних узлов, число которых соответствует числу категории переменной разбиения. Для каждого дочернего узла снова производится проверка по крите-

рию хи-квадрат: вновь перебираются все независимые переменные и находится оптимальное решение для второго уровня и т.д.

Замечание 1. Условиями окончания процедуры разбиения могут быть ограничения глубины дерева, ограничение на минимальное количество объектов подмножества.

Замечание 2. Если независимая переменная является непрерывной или содержит большое количество возможных значений, то диапазон ее изменения разбивается на интервалы и группируется так, чтобы в каждый интервал попало приблизительно равное количество примеров, и эти группы максимально различались между собой по значению целевой переменной.

4 шаг. Построение на основе полученного дерева решающих правил типа «если (условие) то (заключение)», позволяющих составлять прогноз значения целевой переменной для произвольного набора входных переменных.

Методический пример

На основе обучающей выборки, содержащей 119 примеров, было построено дерево классификации (Рис. 1). Построение выполнялось средствами пакета программ SPSS Statistics.

В результате применения метода CHAID были выделены значимые переменные (характеристики безработного), которые наилучшим образом объясняют различия значений в целевой переменной «Длительность пребывания в безработице». По самым «сильным» из факторов путем настройки параметров метода была произведена классификация выборки, полученное дерево состоит из 12-ти узлов.

Среди наиболее значимых факторов оказались: профессиональная востребованность, мотивация, наличие квалификации в смежных профессиях, возрастной фактор.

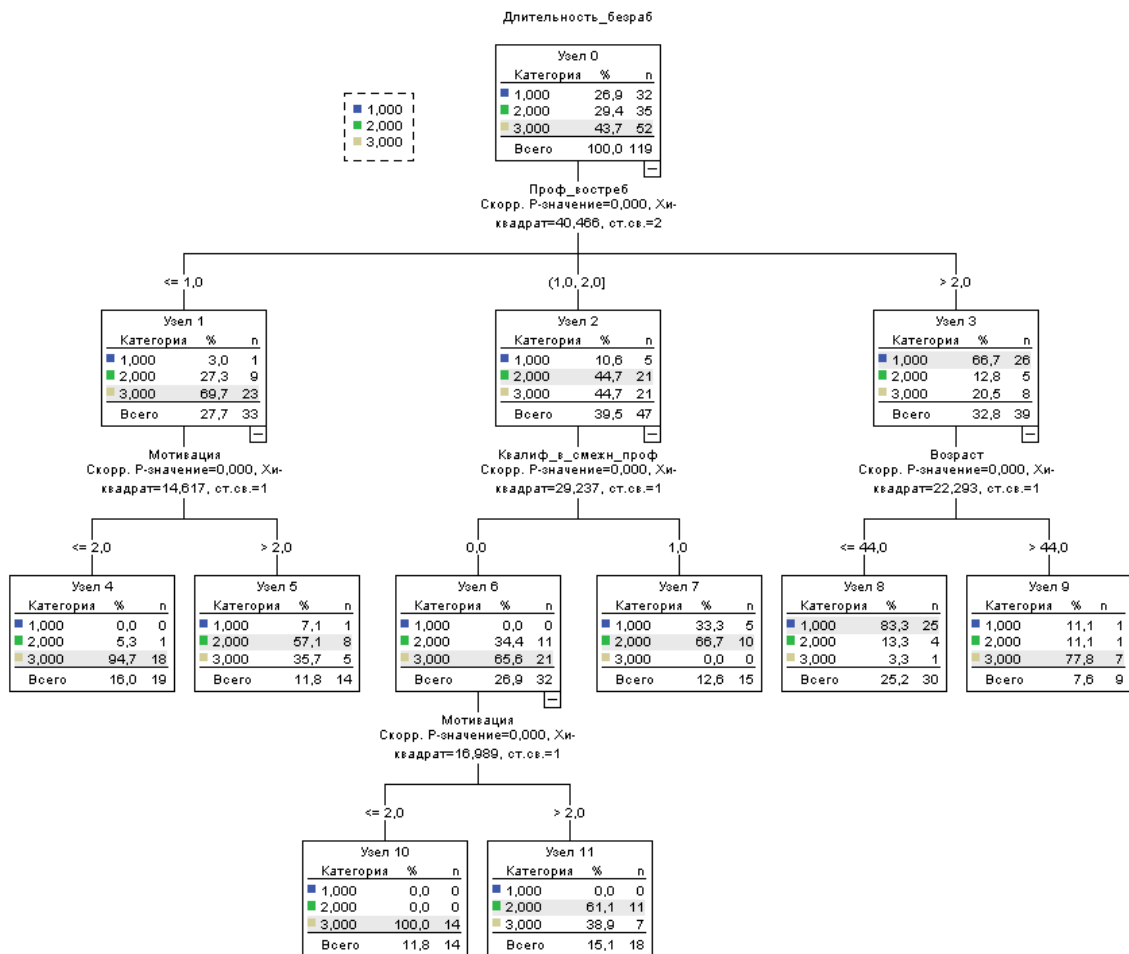


Рис.1. Дерево классификации

Таким образом, построенное дерево позволяет определить следующие решающие (классифицирующие) правила:

(1) IF (Проф_вострреб <= 1) AND (Мотивация <= 2) THEN Длит_безраб = 3 с вероятностью 0.95

(2) IF (Проф_вострреб <= 1) AND (Мотивация > 2) THEN Длит_безраб = 2 с вероятностью 0.57

(3) IF (Проф_вострреб > 1 AND Проф_вострреб <= 2) AND (Квалиф_в_смежн_проф = 0) AND (Мотивация <= 2) THEN Длит_безраб = 3 с вероятностью 1.00

(4) IF (Проф_вострреб > 1 AND Проф_вострреб <= 2) AND (Квалиф_в_смежн_проф = 1) AND (Мотивация > 2) THEN Длит_безраб = 2 с вероятностью 0.61

(5) IF (Проф_вострреб > 1 AND Проф_вострреб <= 2) AND (Квалиф_в_смежн_проф = 0) THEN Длит_безраб = 2 с вероятностью 0.67

(6) IF (Проф_востреб > 2) AND (Возраст <= 44) THEN Длит_безраб = 1 с вероятностью 0.83

(7) IF (Проф_востреб > 2) AND (Возраст > 44) THEN Длит_безраб = 3 с вероятностью 0.78

Проиллюстрируем работу правил для составления прогноза значения целевой переменной «Длительность пребывания в безработице» для произвольного набора входных переменных. Пусть в службу занятости пришел клиент c_k имеющий следующие оценки характеристик: $x_1(c_k) = 35$, $x_2(c_k) = 0$, $x_3(c_k) = 4$, $x_4(c_k) = 10$, $x_5(c_k) = 0$, $x_6(c_k) = 2$, $x_7(c_k) = 1$, $x_8(c_k) = 1$, $x_9(c_k) = 0$, $x_{10}(c_k) = 2$, $x_{11}(c_k) = 0$. Согласно правилу (3) клиент попадает в группу с наибольшим риском перехода в разряд долгосрочных безработных. В этом случае имеет смысл предложить безработному гражданину АПЗ профессиональная переподготовка.

В результате проведенного исследования были выявлены отдельные факторы и их совокупности, оказывающие наиболее значимое влияние на продолжительность поиска работы безработными. Целесообразность исследования подтверждают технологии, применяемые в работе некоторых служб занятости [3], так называемое «профилирование», когда безработного относят к той или иной профильной группе в зависимости от потенциала трудоустройства и уровня мотивации. Но в то же время метод деревьев выгодно отличается от методики профилирования своей гибкостью: по мере пополнения базы данных службы занятости статистической информацией могут быть выявлены новые значимые факторы, связанные с длительной безработицей, наличие которых только повысит прогностические возможности деревьев классификации.

Литература

1. Грудцына Л.Ю. Метод подбора активных программ занятости на основе нечетких деревьев решений / Л.Ю. Грудцына, Л.З. Гуменова, И.Ю. Мышкина // В мире научных открытий. – 2014. – № 11.2(59). – С. 1079-1086.

2. Барсегян А.А. Методы и модели анализа данных : OLAP и Data Mining / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов и др. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336с.

3. Об утверждении Технологии работы по организации и проведению специальных мероприятий по профилированию безработных граждан : приказ Министерства труда, занятости и социальной защиты РТ от 13 окт. 2008г. № 459.

Аналитический синтез минимальных по норме функциональных наблюдателей

Введение. Одной из важных практических задач при управлении техническим объектом является получение сведений о протекающих в нём процессах. При этом использование датчиков для получения интересующей нас информации о состоянии объекта не всегда оказывается возможным или целесообразным (например, это может оказаться очень сложно или слишком дорого). В таких случаях достаточно часто применяют специальные устройства, называемые наблюдателями [1].

Наблюдатели позволяют формировать оценку состояния динамического объекта по его математической модели и информации о входных и выходных сигналах. В настоящее время известны различные типы наблюдателей и способы их расчёта. Среди них особый интерес представляют так называемые функциональные наблюдатели [2], позволяющие восстанавливать не весь вектор состояния объекта, а только лишь некоторую интересующую нас его часть или же некоторый набор линейных комбинаций переменных состояния (требующихся, например, для реализации модального регулятора). При этом для своей реализации функциональный наблюдатель требует наименьшего количества ресурсов вычислительной системы, что является существенным преимуществом при проектировании, например, бортовых информационно-управляющих систем мобильных объектов.

Проведённый анализ существующих методов расчёта коэффициентов функционального наблюдателя [1, 2, 3] позволил выявить их общий недостаток. А именно – возникающие в процессе вычисления большие по модулю коэффициенты матрицы наблюдений. С практической точки зрения это может вызывать значительные проблемы, так как увеличивает влияние внешних возмущений и погрешностей на процесс оценивания. Таким образом, актуальной задачей можно считать разработку нового метода синтеза функциональных наблюдателей с получением минимальной по норме матрицы наблюдений.

Постановка задачи. Пусть линеаризованная в окрестностях номинального режима модель технического объекта описывается системой уравнений

$$\dot{x} = Ax + Bu; \quad y = Cx, \quad (1)$$

где $x \in R^n$, $u \in R^s$ и $y \in R^m$ – векторы состояния, управления и выхода; A, B, C – числовые матрицы соответствующих размеров.

Предполагается, что все выходные сигналы линейно независимы, $n > \max(s, m)$, пара (A, C) полностью наблюдаема по Калману.

Дополним модель объекта (1) соотношением

$$g = Kx, \quad (2)$$

где $g \in R^p$ – подлежащий оценке функционал; K – числовая матрица соответствующих размеров.

Требуется синтезировать минимальный по норме наблюдатель, который формировал бы по известной информации о сигналах y и u вектор \hat{g} такой, что $\hat{g}(t) - g(t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$.

Вывод уравнения наблюдателя. Для решения поставленной задачи, прежде всего, запишем уравнения (1) – (2) в новых координатах, чтобы упростить дальнейшие преобразования. При этом будем использовать технологию канонизации матриц и полученные на её основе методы решения линейных матричных уравнений [4].

Обозначим $M_1 = K\tilde{C}$, $M_2 = K\bar{C}^R$. Тогда можно показать [2], что при выполнении условий $\bar{C}^L = \emptyset$, $\bar{M}_2^L = \emptyset$ вектор состояния объекта (1) может быть представлен в виде выражения

$$x = \tilde{C}y + \bar{C}^R \tilde{M}_2 \mu + \bar{C}^R \bar{M}_2^R \eta, \quad (3)$$

где μ, η – некоторые вектора.

При этом выражение для интересующего нас функционала (2) будет иметь вид

$$g = M_1 y + \mu. \quad (4)$$

Можно показать, что коэффициенты из правой части выражения (3) могут быть объединены в квадратную невырожденную матрицу T , определяемую формулой

$$T = \begin{pmatrix} \tilde{C} & \bar{C}^R \tilde{M}_2 & \bar{C}^R \bar{M}_2^R \end{pmatrix} = (T_1 \quad T_2 \quad T_3).$$

Введём в рассмотрение блочную матрицу V , определяемую выражением

$$V = T^{-1} = \begin{pmatrix} V_1^T & V_2^T & V_3^T \end{pmatrix}^T.$$

Запишем уравнение динамики исходного объекта в новых координатах, задаваемых выражением (3). После чего сформируем уравнение наблюдателя, взяв за основу выражение для динамики вектора μ , которое дополнено слагаемым, пропорциональным разности реального значения вектора и его оценки.

Таким образом, уравнение наблюдателя будет иметь вид

$$\dot{\hat{\mu}} = (V_2 - LV_1)(AT_2\hat{\mu} + AT_1y + AT_3\eta + Bu) + Ly. \quad (5)$$

Оценка искомого функционала будет определяться выражением

$$\hat{g} = M_1y + \hat{\mu}. \quad (6)$$

Так как на практике дифференцирования измеряемых сигналов рекомендуется избегать (при этом возрастает влияние случайных помех), то полученные выражения можно видоизменить, введя вспомогательную переменную $\chi = \hat{\mu} - Ly$. Тогда выражения (5) и (6) запишутся в следующем виде

$$\dot{\chi} = (V_2 - LV_1)[AT_2\chi + A(T_1 + T_2L)y + AT_3\eta + Bu]. \quad (7)$$

$$\hat{g} = (M_1 + L)y + \chi. \quad (8)$$

Сопоставив формулы (4) и (8), можно найти выражение для описания динамики ошибки оценивания

$$\dot{\varepsilon} = (g(t) - \hat{g}(t))' = (V_2 - LV_1)AT_2\varepsilon(t) + (V_2 - LV_1)AT_3\eta(t).$$

Таким образом, асимптотический характер процесса оценивания будет иметь место при одновременном выполнении двух условий:

$$\begin{cases} (V_2 - LV_1)AT_2 < 0; \\ (V_2 - LV_1)AT_3 = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Сведение задачи к решению линейного матричного неравенства. Для получения матрицы наблюдений с требуемыми характеристиками, обеспечивающей выполнение условий (9), применим методы решения линейных матричных неравенств [5].

Дополним первое из условий системы (9) очевидным неравенством $-I < 0$. После чего применим S-процедуру [5], объединив полученное неравенство со вторым ограничением системы (9). Получим матричное неравенство, решение которого в виде симметрической положительно определённой матрицы X и произвольной матрицы L существует тогда и только тогда, когда выполняются условия (9)

$$\begin{pmatrix} A_1^T X + XA_1 - A_2^T L^T X - XLA_2 & XA_3 - XLA_4 \\ A_3^T X - A_4^T L^T X & -I \end{pmatrix} < 0. \quad (10)$$

Здесь обозначено $A_1 = V_2AT_2$, $A_2 = V_1AT_2$, $A_3 = V_2AT_3$, $A_4 = V_1AT_3$.

Чтобы сделать матричное неравенство (10) линейным, введём вспомогательную переменную $Z = XL$. Тогда после подстановки оно запишется в виде

$$\begin{pmatrix} A_1^T X + XA_1 - A_2^T Z^T - ZA_2 & XA_3 - ZA_4 \\ A_3^T X - A_4^T Z^T & -I \end{pmatrix} < 0. \quad (11)$$

Решив его любым из известных способов, можно найти искомую матрицу наблюдений по формуле $L = X^{-1}Z$.

Получение минимального по норме решения. В общем случае линейное матричное неравенство (11) имеет множество решений. Для выбора конкретного экземпляра из этого множества можно ввести дополнительные ограничения, например на величину коэффициентов. При этом получаемая матрица наблюдений будет являться минимальной по норме и обеспечит слабое влияние погрешностей на процесс оценивания.

Для формирования искомого ограничения рассмотрим более подробно полученное выше выражение для матрицы L . Она представляет собой произведение двух матриц, одна из которых является симметрической положительно определённой, а вторая – произвольной. При этом первая матри-

ца, в свою очередь, является обратной к матричной переменной X , входящей в неравенство (11).

В общем случае связь между коэффициентами матрицы и её нормой является достаточно сложной [6]. Однако, для некоторых типов матриц можно выявить определённые закономерности. Например, для диагонально-доминирующей матрицы из положительных элементов норма будет взаимосвязана с величиной следа. Таким образом, можно предложить в качестве дополнительного ограничения формировать при решении линейного матричного неравенства (11) диагонально-доминирующую матрицу X с максимальными элементами по главной диагонали. Тогда можно ожидать, что матрица X^{-1} будет иметь минимальную норму, как и получаемая в итоге матрица L .

С практической точки зрения указанное ограничение может быть легко реализовано при решении линейного матричного неравенства (11) с использованием специализированных программных продуктов (например, LMI Toolbox системы MATLAB). Так при использовании стандартной функции `minsx` для достижения указанного эффекта достаточно в качестве второго аргумента (минимизируемого вектора) указать совокупность элементов главной диагонали матрицы X , взятых со знаком «минус»,

Выводы. В работе предложен алгоритм расчёта коэффициентов функционального наблюдателя, основанный на приведении модели исходного объекта к специальному виду путём невырожденных преобразований переменных состояния и последующему решению линейного матричного неравенства. Показано, что применение данного метода позволяет находить множество решений задачи. При этом, накладывая дополнительные ограничения на используемые вспомогательные переменные можно получать решения с некоторыми наперёд заданными характеристиками. Предложен способ построения матрицы наблюдений, минимальной по норме (имеющей минимальные значения коэффициентов). Результаты работы могут быть использованы на практике, например, при решении задач оценивания неизмеряемых сигналов в системах диагностики или при реализации модальных регуляторов в условиях ограниченности вычислительных ресурсов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 14-08-00651).

Литература

1. Кузовков Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства / Н. Т. Кузовков. – М.: Машиностроение, 1976. – 184 с.

2. Асанов А. З. Аналитический синтез функциональных наблюдателей / А. З. Асанов, Д. Н. Демьянов // Изв. вузов. Авиационная техника. 2013. № 4. С. 13–18.

3. Коровин С. К. Синтез минимальных функциональных наблюдателей / С. К. Коровин, В. В. Фомичев, И. С. Медведев // Доклады академии наук. Теория управления. 2005. № 3. С. 316 – 320.

4. Буков В. Н. Вложение систем. Аналитический подход к анализу и синтезу матричных систем / В. Н. Буков. – Калуга: Изд. науч. лит. Н.Ф. Бочкаревой, 2006. – 720 с.

5. Баландин Д. В. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств / Д. В. Баландин, М. М. Коган. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 280 с.

6. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц / Ф. Р. Гантмахер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 560 с.

Зубков Е.В.,

канд. техн. наук, доцент

Определение с помощью искусственной нейронной сети параметров математической модели, описывающей режимы работы дизелей

Международный стандарт 1585 на испытания дизелей регламентирует стационарные режимы нагружения, поэтому отечественные заводы выпускают двигатели для стационарных режимов работы, а эксплуатируют их при неустановившихся нагрузках [2]. При неустановившихся режимах все системы двигателя начинают работать рассогласовано, вследствие чего возникают динамические потери. Расход топлива в условиях эксплуатации всегда больше, а момент двигателя снижается по сравнению с данными стендовых испытаний.

Разработка технологического процесса автоматизированных испытаний при исследовании двигателей в динамических режимах позволит получить характеристики рабочих процессов дизельных двигателей при неустановившихся нагрузках. Для этого стенд для исследований двигателей должен обеспечивать возможность воспроизводить неустановившийся характер нагрузки, а также типовые нагружения исследуемого двигателя [2].

С целью обеспечения возможности учета динамических свойств дизеля при разработке системы управления для настройки параметров автоматизированных систем испытаний применяется математическая

модель двигателя, адекватность которой доказана для дизеля КАМАЗ 740.60 при стендовых испытаниях на заводе двигателей ОАО «КАМАЗ» экспериментально [2]:

$$\begin{cases} \frac{dh(t)}{dt} = T_h \cdot \dot{h}(t) + K_{hm} \cdot \dot{M}_c(t) + K_\omega \cdot \overline{\omega(t)} + 0 \cdot \overline{M_c(t)} \\ \frac{dM_c(t)}{dt} = 0 \cdot \dot{h}(t) + T_m \cdot \dot{M}_c(t) + 0 \cdot \overline{\omega(t)} + K_c \cdot \overline{M_c(t)} \end{cases}, \quad (1)$$

$$\omega = K_h \cdot h(t) + K_m \cdot M_c(t), \quad (2)$$

где $\overline{\omega(t)}$ и $\overline{M_c(t)}$ – входные параметры требуемой частоты вращения вала двигателя и нагрузки, соответственно; $h(t)$ и $M_c(t)$ – переменные, определяющие положение рейки ТНВД и нагрузку, соответственно; $\omega(t)$ – выходной сигнал, показывающий частоту вращения вала двигателя, K_ω – коэффициент передачи исполнительного механизма перемещения рейки топливного насоса, K_c – коэффициент усиления источника питания нагружающего устройства, T_h – коэффициент определяющий инерционность дизеля, T_m – коэффициент определяющий инерционность нагружающего устройства, K_{hm} – коэффициент дополнительной инерционности от нагружающего устройства на вал дизеля, K_h – коэффициент усиления дизеля, K_m – коэффициент усиления нагружающего устройства. При использовании различных модификаций дизелей, например, с другой топливной системой, физический смысл коэффициентов будет иным.

Представим модель (1, 2) в виде графа (рис.1).

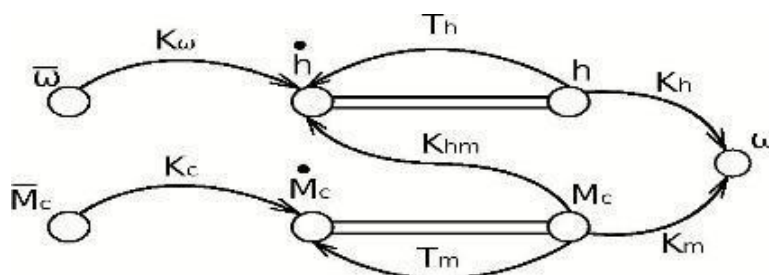


Рис. 1. Граф представления модели управления дизельного двигателя с двумя входными и одним выходным значениями

Подбор коэффициентов осуществим искусственной нейронной сетью (ИНС), выбрав количество входных и выходных элементов сети равное количеству коэффициентов модели. В качестве подбираемых

коэффициентов выберем T_m , T_h , K_{hm} , K_w , K_c , а оставшиеся 2 коэффициента известны из характеристик дизеля и нагружающего устройства. Количество нейронов в скрытом слое вычислено исходя из гипотезы, что их количество равно полусумме числа входных и выходных элементов. Исходя из данных выше, была получена ИНС, отображенная на рисунке 2.

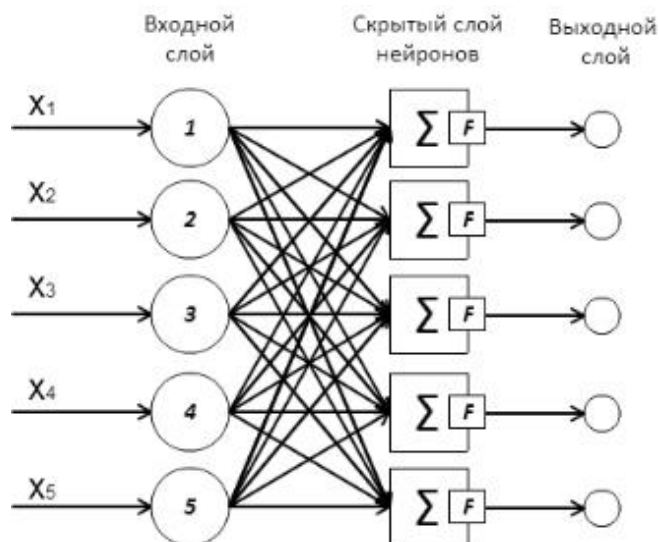


Рис. 2. Модель ИНС прямого распространения с пятью входами и выходами

После того, как определено число слоев и число элементов в каждом из них, нужно найти значения для весов и порогов сети, которые бы минимизировали ошибку прогноза, выдаваемого сетью.

Для обучения построенной ИНС был выбран алгоритм обратного распространения ошибки, который, несмотря на достаточную простоту, применим в решении большого круга задач и в некоторых случаях он имеет определенные преимущества [1].

ИНС для каждого вектора входных параметров вычисляет значение погрешности модели. Во время обучения на вход ИНС подается вектор $[1,1,1,1,1]$. На каждом слое вычисляется значение сигмоидальной функции активации (OUT):

$$OUT = \frac{1}{1 + \exp(-Y)}, \quad (3)$$

где Y – значение суммы входов нейрона.

Сигмоида позволяет усиливать слабые сигналы и не насыщаться от сильных сигналов. Подобная нелинейная функция активации решает

поставленную перед ним дилемму шумового насыщения. Получившееся значение сигмоиды умножается на значения весов и передаются на следующий слой нейронов.

На основании параметров полученных на выходе ИНС вычисляется погрешность математической модели. Исходя из полученной ошибки, корректируются веса сети и расчёты выполняются заново (рис.3).

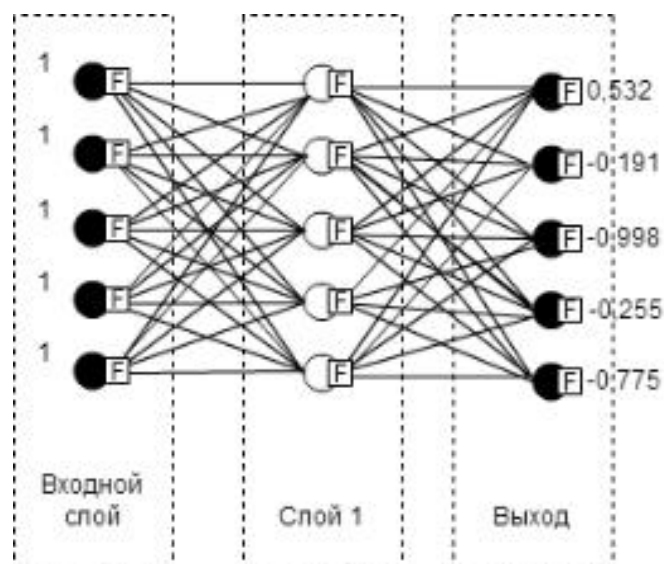


Рис. 3. Распространение сигнала в нейронной сети

Таким образом, обучение нейронной сети состоит из этапов – последовательности получения результатов работы нейронной сети, параметров имитационной модели и сравнения с эталонными значениями.

При большой длине шага при движении по поверхности ошибок для определения параметров математической модели, сходимость будет более быстрой, но имеется опасность перепрыгнуть через решение или (если поверхность ошибок имеет особо вычурную форму) уйти в неправильном направлении. Правильный выбор скорости обучения зависит от конкретной задачи и обычно осуществляется опытным путем; эта константа может также зависеть от времени, уменьшаясь по мере продвижения алгоритма. Алгоритм действует итеративно, и его шаги принято называть эпохами. На каждой эпохе на вход сети поочередно подаются все обучающие наблюдения, выходные значения сети сравниваются с целевыми значениями и вычисляется ошибка. Значение ошибки, а также градиента поверхности ошибок используется для корректировки весов, после чего все действия повторяются. Начальная конфигурация сети выбирается случайным образом, и процесс обучения

прекращается либо когда пройдено определенное количество эпох, либо когда ошибка достигнет некоторого определенного уровня малости, либо когда ошибка перестанет уменьшаться (пользователь может сам выбрать нужное условие остановки).

На основе предложенной концепции была разработана компьютерная программа, позволяющая определять параметры математической модели (рисунок 4). При значении коэффициента обучения равное 0,11 на подбор параметров было затрачено 5 минут и 15 секунд, погрешность системы составила 7,52%.

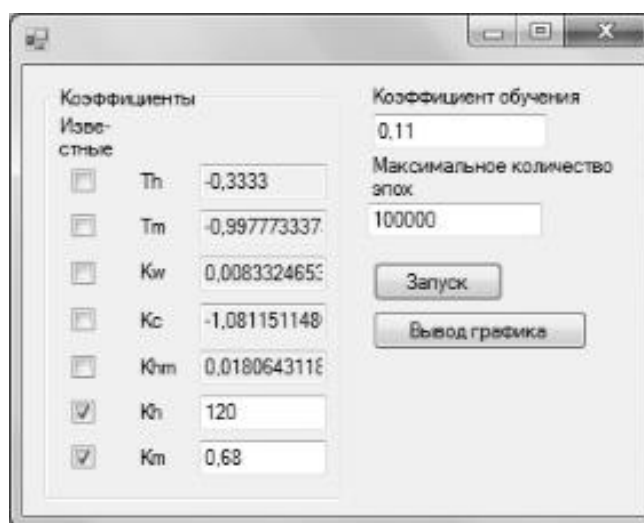


Рис. 4. Подобранные коэффициенты

При значении коэффициента обучения равное 0,5 на подбор параметров было затрачено 27 секунд, погрешность системы составила 7,54%. При значении коэффициента обучения равное 0,9 на подбор параметров было затрачено 1 минута и 38 секунд, погрешность системы составила 7,57%. Расчет погрешности осуществлялся по формуле средней квадратической ошибки.

При коэффициентах обучения 1.5 и выше система не способна подбирать коэффициенты. Исходя из этих данных, можно сделать заключение, что при увеличении значения коэффициента обучения, ускоряется процесс подбора коэффициентов, однако при выборе достаточно большого значения – нейронная сеть начинает «перепрыгивать» значение глобального минимума и, таким образом, не способна решать поставленную задачу.

ИНС реализующая систему подбора параметров позволяет при увеличении значения коэффициента обучения – увеличить скорость

подбора, но увеличивает погрешность модели, которая с подобранными параметрами варьируется между значениями 7,52% и 7,57%. Для получения меньшей погрешности в рассматриваемой модели необходимо учитывать дополнительные входные параметры.

Литература

1. Galiullin L.A., Zubkov E.V. Hybrid Neural Network for the Adjustment of Fuzzy System when Simulating Tests of Internal Combustion Engines /Russian Engineering Research. - 2011. - Vol. 31, № 5. - pp. 439-443.

2. Галиуллин Л.А., Зубков Е.В., Мочалов Д.И. Математическое моделирование режимов испытаний дизельных двигателей /Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2011 - № 5. – С. 77-81.

Илюхин А.Н.,

канд. техн. наук, доцент

Модернизация метода самообучения нейронной сети WTA на примере кластеризации неисправностей дизелей

Использование искусственной нейронной сети для кластеризации неисправностей дизелей позволяет, снизить объем хранимых данных за счет создания базы знаний весовых коэффициентов, что позволяет проводить уточнение этой базы путем обучения, позволяющего повысить точность кластеризации. В случае появления новых типов неисправностей, их можно добавить в разрабатываемую базу путем изменения структуры сети. Искусственные нейронные сети уже зарекомендовали себя при проведении испытаний дизельных двигателей [1,2].

При сравнении алгоритмов кластеризации на основе искусственных нейронных сетей [3], нейронная сеть WTA, нейронный газ и сети Кохонена сравнивались при решении задачи восстановления двумерного массива обучающихся данных сложной структуры. Независимо от количества нейронов наилучшие результаты самоорганизации были получены с использованием алгоритмов WTA и нейронного газа, причем последний из-за необходимости сортировки оказался значительно, более медленным, чем нейронная сеть WTA. Оригинальный алгоритм Кохонена показал наихудший результат, не обеспечивая хорошего восстановления данных.

Следовательно, для решения задачи кластеризации неисправностей целесообразно применить искусственную нейронную сеть WTA.

Для обучения нейронной сети WTA используют правило Гроссберга [3-5]. На начальном этапе обучения сети случайным образом выбираются весовые коэффициенты w_{ij} . Все вектора \bar{w} нормализуются. Затем на вход подают выборку с соответствующими значениями нормализованных входных сигналов \bar{x} , на их основании рассчитываются выходные значения сумматоров u_i . Из вычисленных значений u_i , выбирается максимальное. Победивший нейрон получает на выходе значение равное единице, а проигравшие ноль. На следующем этапе обучения производится уточнение весовых коэффициентов только нейрона-победителя по упрощенному правилу Гроссберга:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta[x_j - w_{ij}(t)],$$

где $w_{ij}(t+1)$ – рассчитываемые веса i -го сумматора;

где $w_{ij}(t)$ – текущие веса i -го сумматора;

η - это коэффициент обучения, значение которого, как правило, выбирается из интервала (0,1);

x_j - входной сигнал i -го сумматора.

Уточнение весовых коэффициентов производится последовательно для всех входных векторов \bar{x} в цикле, пока выходные значения нейронной сети не будут совпадать с желаемыми (цель обучения достигнута) или превысят какого-то порогового значения числа итераций (обучения не достигла требуемого результата).

Рассмотренный выше метод обучения нейронной сети обладает существенным недостатком, связанным со случайным способом задания начальных весовых коэффициентов. Данными недостатками являются: проблема «мертвых нейронов» и возможного большого количества итераций обучения.

«Мертвые нейроны» - это нейроны ни разу не победившие в конкурентной борьбе, что приводит к снижению качества кластеризации. Появление таких нейронов возможно при близком расположении векторов \bar{w} друг к другу. Рассмотрим ситуацию, когда у нас три кластера значений и три нейрона. Если все три нейрона расположатся между двумя кластерами значений, то во время обучения будут побеждать только крайние нейроны, а средний нейрон не распознает не одну группу входных сигналов, так как

его угол φ всегда будет меньше, чем у двух соседних. Графическое описание данного процесса представлено на рисунке 1.

Ситуация с большим количеством итераций обучения может возникнуть, если кластер и начальное значение веса располагаются на значительном расстоянии друг от друга и выбрана высокая точность кластеризации путем назначения малого значения коэффициента обучения η .

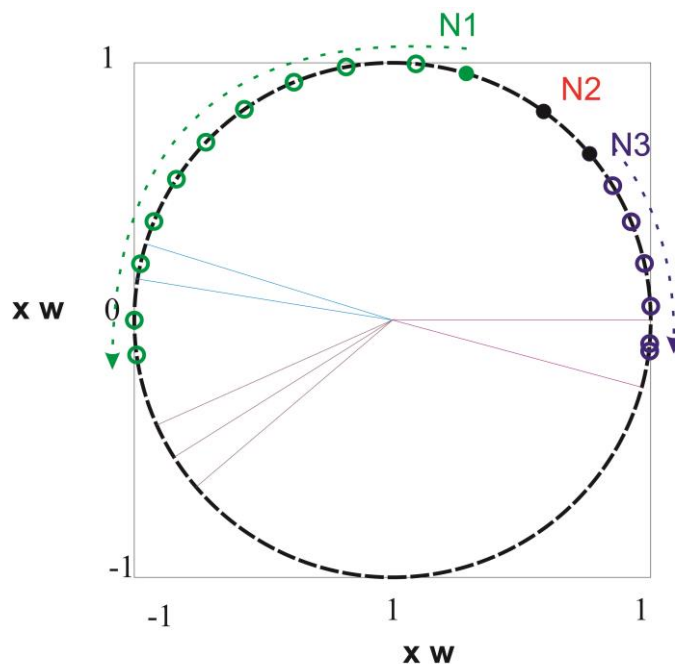


Рис. 1. Обучение сети с «мертвыми нейронами»

Для устранения данных недостатков целесообразно изменить «классический» способ назначения начальных весовых коэффициентов, случайным образом. В место этого в качестве весового коэффициента каждого нейрона использовать значение первого входного вектора из каждого соответствующего кластера. Графическое описание измененного процесса обучения представлено на рисунке 2.

На рисунке 2. нейроны 1 и 2 образуют первый кластер, нейроны 3, 4, 5 второй, а 6 и 7 третий. Соответственно во время обучения первый нейрон в качестве весовых коэффициентов получает значения входного вектора 1, второго нейрона 3, а третьего 6, так как это первые нейроны, по порядку встречающиеся в кластере.

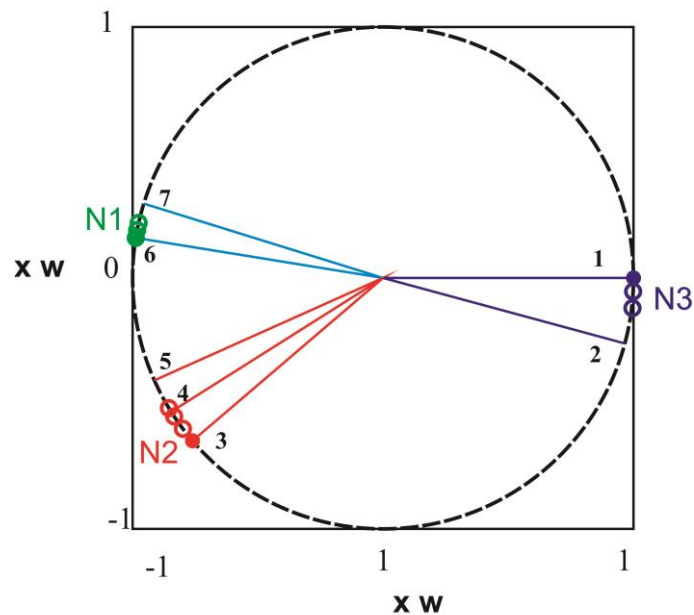


Рис. 2. Измененный процесс обучения

Как видно по рисунку 2. данный способ назначения весовых коэффициентов позволяет избавиться от проблемы «мертвых нейронов», а также обучить нейронную сеть за меньшее количество итераций.

Для построения нейронной сети WTA, позволяющей идентифицировать неисправности дизелей, на начальном этапе нужно провести обучение. Для этого необходимо ввести в систему входные обучающие вектора \bar{x} и соответствующие им выходные желаемые значения \bar{d} . На основе обработки результатов стендовых испытаний дизелей КАМАЗ 740.30-260 были получены обучающие выборки состоящей из шести параметров. Обработка этих выборок проводилась двумя рассмотренных выше методами.

Эффективность модернизированного алгоритма подбора начальных весовых коэффициентов перед классическим, заключается в значительном уменьшении количества циклов обучения, что позволяет снизить нагрузку на вычислительные устройства. Наибольший эффект может быть достигнут при большом количестве обучающих выборок и размерности входных и выходных векторов.

Литература

1. Galiullin L.A., Zubkov E.V. Hybrid Neural Network for the Adjustment of Fuzzy System when Simulating Tests of Internal Combustion Engines //Russian Engineering Research. - 2011. - Vol. 31, № 5. - pp. 439-443.

2. Biktimirov R.L., Valiev R.A., Galiullin L.A., Zubkov E.V., Iljuhin A.N. Automated test system of diesel engines based on fuzzy neural network. 2014. Research Journal of Applied Sciences, V.9, P.1059-1063.

3. Обзор типов искусственных нейронных сетей и методов их обучения / Воронов И. В., Политов Е. А., Ефременко В. М. // Вестник КузГТУ . 2007. №3. С.38-42.

4. Сокращение времени обучения многослойных нейронных сетей / Лебедев А.В. // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки . 2008. №2-3. С.240-243.

5. Автоматизированная технология модульного принципа обучения и самоорганизации искусственных нейронных сетей / Рыков В. П. // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки . 2013. №4-1. С.1428-1430.

Исавнин А.Г.,

д-р физ.-мат. наук, профессор,

Шаринов Р.Ш.,

аспирант

Применение задачи Штейнера с учетом рельефа местности для оптимизации затрат при строительстве автомобильных дорог

В практике дорожного проектирования довольно часто ставится вопрос оптимизации затрат при строительстве автомобильных дорог. Причем рассматривается не только сокращение ресурсных затрат на строительство, но и улучшение организации движения без вреда ее участникам. Возможность применения различных методов, позволяющих выполнять поставленные задачи, при этом оптимизируя затраты, является приоритетным направлением развития дорожно-строительной отрасли.

Рассмотрим использование задачи Якоба Штейнера [1, с. 382] при проектировании дорог. Задача состоит в соединении в кратчайшую сеть некоторых заданных точек, и при необходимости учитывается возможность добавления дополнительных точек – точек Штейнера [2, с. 18], отличающихся от начальных.

Как известно, цена строительства варьируется в зависимости от стоимости строительных материалов, затрат на оплату труда рабочих, эксплуатацию строительных машин и механизмов и других факторов. Несомненно, большое влияние на цену имеет рельеф местности, на котором плани-

руется дорожное строительство. Спроектируем новый дорожный участок, используя задачу Штейнера с учетом рельефа местности.

На территории Республики Татарстан происходит активное развитие малоэтажного строительства, создаются коттеджные поселки различного типа. Каждый из новых поселков необходимо соединить дорожной сетью.

Рассмотрим применение задачи Штейнера с учетом особенностей рельефа на примере нескольких коттеджных поселков Верхнеуслонского муниципального района вблизи г. Казань. Были выбраны новые строящиеся поселки: Солнечная долина (на рисунке под №1) и Новый (№3). В настоящий момент данные населенные пункты не имеют дорожного покрытия. Необходимо соединить их сетью дорог, при этом учитывая возможность заезда в село им. Кирова (№4) и село Верхний Услон (№2), в которых имеются инфраструктурные объекты – медицинский пункт, отделения банков, почта, магазины [3]. В с. Верхний Услон проложена дорога с асфальтобетонным покрытием.



Рис.1. Расположение поселков на карте Google Earth

Учитывая лесополосу, расположенную рядом с поселком Солнечная долина, было принято решение проложить дорогу, не вырубая имеющиеся насаждения. В связи с чем, определена еще одна точка P1 – перекресток, соединяющий с дорогой, ведущей в Верхний Услон (рис.1).

Воспользуемся алгоритмом нахождения кратчайшей сети дорог с учетом рельефа местности. Использование дополнительных точек – точек Штейнера зависит от ряда условий [4, с. 4]. Следует также учитывать и целесообразность их добавления при минимизации расстояний между объектами, поэтому точки Штейнера может и не быть [2, с. 18].

Затраты на строительство автомобильных дорог в зависимости от характера и категории рельефа местности различны. Например, в местности со сложными природными (гидрогеологическими) условиями стоимость выше, чем дорога той же категории на равнинной местности. Учитывая прямую зависимость стоимости строительства от протяженности участка и топографических особенностей местности, вес ребер между начальными точками будем рассчитывать от влияния указанных значений, выбирать путь с минимальной стоимостью. Решение задачи Штейнера будем осуществлять, используя известный алгоритм [5, с. 89] с предложенной нами модификацией весов ребер.

Найдем точки Штейнера для выбранных нами точек – пунктов и проложим новый путь (рис. 2).



Рис. 2. Расположение точки Штейнера T и новой дорожной сети на карте Google Earth

Была рассчитана общая длина строительства дороги по участкам (таблица 1).

Таблица 1

Длина нового участка

Участок	Длина, км	Рельеф	Стоимость строительства, руб.
1 – Р1	1,09	Равнинная	31 006 576
Р1-Т	1,6	Слабохолмистая	45 514 240
Т - 4	0,64	Равнинная	18 205 696
Т-3	0,73	Равнинная	20 765872
3-2	0,58	Слабохолмистая	16 498 912
Всего	4,64		131 991296

При этом объемы строительства могут быть сокращены при использовании уже имеющейся дороги, проложенной к селу Верхний Услон (P1-P2). Учитывая это (используя полученную точку Штейнера T), проведем корректировку нашего участка строительства.



Рис.3. Расположение новой дорожной сети с учетом имеющихся дорог на карте Google Earth

Таблица 2

Длина нового участка

Участок	Длина, км	Рельеф	Стоимость строительства, руб.
1 – P1	1,09	Равнинная	31 006 576
P1-P2	1,59	Слабохолмистая	45 229 776
P2-T	0,31	Слабохолмистая	8 818 384
T - 4	0,64	Равнинная	18 205 696
T-3	0,73	Равнинная	20 765 872
3-2	0,58	Слабохолмистая	16 498 912
Всего	4,94		140 525 216

Таким образом, используя уже имеющуюся дорогу P1-P2 (рис.3), объемы строительства сократятся на 1,59 км и составит 3,35 км, стоимость строительства уменьшится на 36 695 856 рублей.

Стоимость строительства дороги IV категории (интенсивность движения 200-1000 автомобилей в сутки) на указанном участке с учетом рельефа (местность равнинная и слабохолмистая) составит 95 295 440 рублей (цена

рассчитана в соответствии с государственными укрупненными нормативами строительства) [6].

Итак, использование данной модификации задачи Штейнера позволяет при построении кратчайшей сети учитывать не только длину маршрута, но и местность, по которой предполагается строительство автодороги. Это позволяет более точно определять расположение новой дороги с учетом экономической рациональности строительства на участке.

Литература

1. Курант Р., Роббинс Г. Что такое математика? Элементарный очерк идей и методов. М.: МЦНМО, 2001. 568 с.

2. Протасов В.Ю. Максимумы и минимумы в геометрии. М.: МЦНМО, 2005. 56 с.

3. Коттеджный поселок «Новый» [Электронный ресурс] // Поселки116 – открытый электронный портал о загородной недвижимости в Казани. URL: [http:// http://poselki116.ru/villages/novyy-verhniy-uslon.html](http://poselki116.ru/villages/novyy-verhniy-uslon.html) (дата обращения: 30.01.2016).

4. Исавнин А.Г., Шарипов Р.Ш. Построение кратчайшей сети дорог на однородной территории с использованием трехточечной задачи Штейнера (на примере Чистопольского района Республики Татарстан) // Региональная экономика: теория и практика, 2015. - № 24 (399). - С. 2-10.

5. Орлов Н.Н. Построение оптимальных соединений. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. №4. Т. 93. С. 88–93.

6. Государственные сметные нормативы. Укрупненные нормативы цены строительства НЦС 81-02-08-2014 Часть 8. Автомобильные дороги : приложение №8 к приказу Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ «О внесении в федеральный реестр сметных нормативов, подлежащих применению при определении сметной стоимости объектов капитального строительства, строительство которых финансируется с привлечением средств федерального бюджета, укрупненных сметных нормативов цены строительства для объектов непроизводственного назначения и инженерной инфраструктуры» от 28 августа 2014 г. №506/пр. // Нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве. – 2014. - № 5.

Разработка квазиадаптивного алгоритма управления многосвязным объектом с запаздываниями по состоянию и управлению

Синтез законов управления сложными объектами обусловлен разнообразными факторами. Одним из факторов, затрудняющим процесс синтеза, является наличие запаздываний в каналах состояния и управления объекта. Запаздывания, сосредоточенные в каналах связи объекта управления, могут привести к ухудшению качества процессов управления, к возникновению автоколебательности в системе и даже к потере устойчивости [1].

В случае, если сложный многосвязный объект функционирует при параметрических неопределенностях и неопределенностях внешней среды, возможно применение адаптивного управления. Однако «классические» методы адаптивного управления не позволяют качественно управлять объектом из-за его многосвязности. Следовательно, необходимо применение матричного аппарата, например, методов матричных неравенств и технологии вложения матриц.

В данной работе предлагается использовать систему, приближающуюся по своим свойствам к адаптивным (квазиадаптивным).

Для управления многосвязным объектом с запаздываниями по состоянию и управлению, функционирующим в условиях неопределенностей, предлагается метод синтеза закона управления, основанный на аналитическом решении задачи синтеза квазиадаптивной системы автоматического управления с эталонной моделью [2]. С помощью аппарата технологии вложения систем необходимо определить матричные передаточные функции (МПФ) регулятора и предкомпенсатора, а также условий их определяющих, при которых поведение системы управления описывается желаемой МПФ. Поиск закона управления проводится для случаев синтеза по свободной составляющей, вынужденной составляющей, свободной и вынужденной составляющей рассогласования замкнутой динамической системы.

Математическая модель. Пусть многосвязный объект с сосредоточенными запаздываниями по управлению и состоянию представлен дифференциально-разностными уравнениями:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \sum_{i=0}^l A_i x(t - \tau_i) + \sum_{j=0}^r B_j u(t - \theta_j), \\ y(t) &= Cx(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где $\tau_0, 0 < \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_l$ – постоянные времена запаздываний при матрицах A_i , $\theta_0, 0 < \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_r$ – постоянные времена запаздываний при матрицах B_j , $u(t) \in R^s$ – вектор входных переменных, $y(t) \in R^m$ – вектор выходных переменных, $x(t) \in R^n$ – фазовый вектор объекта управления. В нашем случае матрицы A_i имеют размер $n \times n$, $B_j – n \times s$, $C – m \times n$.

Начальные условия зададим с учетом задержек сигналов в ОУ, то есть будем формально рассматривать отрицательные моменты времени $t < 0$, предполагая, что в объекте происходили динамические процессы до начального момента времени:

$$x(t) = \varphi_x(t), t_0 - \tau \leq t \leq t_0, \quad u(t) = \varphi_u(t), t_0 - \theta \leq t \leq t_0,$$

где τ, θ – наибольшие времена запаздываний по состоянию и по управлению соответственно.

Для синтеза системы управления со многими запаздываниями сначала компенсируем запаздывания по управлению, а затем проведем построение системы автоматического управления с запаздываниями по состоянию путем реализации соответствующего закона управления.

Компенсация запаздываний по управлению. Применение преобразования Лапласа к уравнениям (1) дает операторную форму описания объекта:

$$\begin{aligned} px(p) &= \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p} x(p) + \sum_{j=0}^r B_j e^{-\theta_j p} u(p) + \varphi_x(p) + \varphi_u(p), \\ y(p) &= Cx(p). \end{aligned} \quad (2)$$

Распространим результаты, полученные для скалярных систем, на многосвязные (многомерные) системы и предположим, что для решения задачи компенсации запаздываний по управлению можно использовать упредитель Смита, включенный не в обратную цепь, а параллельно объекту управления $W(p)$. Следуя этому принципу, добавим параллельно к объекту контур компенсации запаздываний по управлению $R(p)$.

Контур $R(p)$, компенсирующий запаздывания по управлению, можно получить как разность модели объекта без запаздываний по управлению и модели объекта с запаздываниями по управлению.

Таким образом,

$$W(p) + R(p) = C \left(pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p} \right)^{-1} \sum_{j=0}^r B_j. \quad (3)$$

Следовательно, в результате аддитивной компенсации запаздываний получили модифицированный объект управления, содержащий запаздывания только по состоянию, который можно представить в виде дифференциально-разностных уравнений:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= \sum_{i=0}^l A_i x(t - \tau_i) + Bu(t), \\ y(t) &= Cx(t),\end{aligned}\tag{4}$$

где $B = \sum_{j=0}^r B_j$.

Синтез многосвязной системы автоматического управления с запаздываниями. Целью управления является обеспечение поведения синтезируемой системы управления близкой к поведению эталонной модели, не содержащей запаздываний, которая описывается в пространстве состояний уравнениями:

$$\begin{aligned}x_M(t) &= A_M x_M(t) + B_M g(t), \\ y_M(t) &= C_M x_M(t).\end{aligned}\tag{5}$$

где $x_M(t) \in R^n$ – вектор состояния эталонной модели объекта, $y_M(t) \in R^m$ – вектор выходных переменных модели объекта, A_M, B_M, C_M – матрицы эталонной модели соответствующих размеров, $g(t) \in R^s$ – вектор управления на входе системы.

Пусть закон управления описывается матричным уравнением:

$$u(p) = G(p)g(p) - K(p)(y(p) - y_M(p)),\tag{6}$$

где $K(p)$ – МПФ регулятора размера, $G(p)$ – МПФ предкомпенсатора размера.

Требования к синтезируемой системе управления формализуем на основе сигнала рассогласования $\Delta y = y - y_M$. Пусть близость поведения синтезируемой системы к эталонной характеризуется матричной передаточной функцией

$$E(p)_{\Delta y}^g : E(p)_{\Delta y}^g = E(p)_y^g - E(p)_{y_M}^g,$$

где $E(p)_y^g$ – МПФ от управляющих воздействий к выходу объекта, $E(p)_{y_M}^g$ – МПФ от управляющих воздействий к выходу модели объекта, $E(p)_{\Delta y}^g$ – МПФ от

управляющих воздействий к рассогласованию объекта и модели.

Задача: для ОУ (4), цели управления (5) и закона управления (6) необходимо найти МПФ регулятора $K(p)$ и МПФ предкомпенсатора $G(p)$ или условия их определяющие, при которых поведение САУ будет описываться желаемой МПФ.

Синтез квазиадаптивной САУ с запаздываниями по состоянию. При синтезе системы управления будем использовать технологию вложения систем [3]. С учетом уравнений (4) – (6) и выполнения процедур метода вложения систем проблемная матрица (проматрица) рассматриваемой задачи будет иметь вид:

$$\Omega(p) = \begin{bmatrix} (pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p}) & 0 & 0 & 0 & -B & 0 \\ -C & I_m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (pI_n - A_M) & 0 & 0 & -B_M \\ 0 & 0 & -C & I_m & 0 & 0 \\ 0 & K & 0 & -K & I_s & -G \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_s \end{bmatrix}.$$

Матрицы α и β , используемые при вложении систем имеют вид:

$$\begin{aligned} \alpha &= [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ I_s]^T, \quad \beta = [0 \ I_m \ 0 \ -I_m \ 0 \ 0] && \text{при } \omega = E_{\Delta y}^g(p), \\ \alpha &= [I_n \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T, \quad \beta = [0 \ I_m \ 0 \ -I_m \ 0 \ 0] && \text{при } \omega = E_{\Delta y}^\Phi(p), \\ \alpha &= \begin{bmatrix} I_n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_s \end{bmatrix}^T, \quad \beta = [0 \ I_m \ 0 \ -I_m \ 0 \ 0] && \text{при } \omega = [E_{\Delta y}^\Phi(p) E_{\Delta y}^g(p)], \end{aligned}$$

где ω – образ синтезируемой системы – желаемая матричная передаточная функция.

После выполнения процедур технологии вложения – последовательной факторизации матриц $\Omega = \Sigma\Theta$, $\alpha = \Sigma\delta$, $\beta = \pi\Theta$, (π , δ , Θ , Σ – вспомогательные матрицы), можно получить уравнения, которым должны удовлетворять МПФ регулятора $K(p)$ и МПФ предкомпенсатора $G(p)$ при синтезе по вынужденной составляющей $E(p)_{\Delta y}^g$ рассогласования Δy замкнутой динамической системы.

Для решения матричных уравнений, которые получаются в результате применения процедур вложения, возможно применение аппарата канонизации матриц [4].

Применение технологии вложения при синтезе по свободной составляющей рассогласования дает систему уравнений относительно передаточных матриц $K(p)$, π_{x_M} :

$$\begin{aligned} E_{\Delta y}^{\Phi}(p)(pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p}) &= C - E_{\Delta y}^{\Phi}(p)BK(p)C, \\ \pi_{x_M}(pI_n - A_M) &= E_{\Delta y}^{\Phi}(p)BK(p)C_M - C_M; \end{aligned} \quad (7)$$

при синтезе по вынужденной составляющей рассогласования дает систему уравнений относительно передаточных матриц $K(p)$, $G(p)$, π_x , π_{x_M} :

$$\begin{aligned} \pi_x(pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p}) &= C - \pi_x BK(p)C, \\ \pi_{x_M}(pI_n - A_M) &= \pi_x BK(p)C_M - C_M, \\ E_{\Delta y}^g(p) &= \pi_{x_M} B_M + \pi_x BG(p); \end{aligned} \quad (8)$$

при синтезе по свободной и вынужденной составляющим рассогласования, дает систему уравнений относительно МПФ $K(p)$, $G(p)$, π_{x_M} :

$$\begin{aligned} E_{\Delta y}^{\Phi}(p)(pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p}) &= C - E_{\Delta y}^{\Phi}(p)BK(p)C, \\ \pi_{x_M}(pI_n - A_M) &= E_{\Delta y}^{\Phi}(p)BK(p)C_M - C_M, \\ E_{\Delta y}^g(p) &= \pi_{x_M} B_M + E_{\Delta y}^{\Phi}(p)BG(p). \end{aligned} \quad (9)$$

Из первого уравнения системы (7), используя аппарат канонизации матриц, получим множество матриц регулятора $K(p)$:

$$\overline{\{K(p)\}}_{\eta, \mu} = E_{\Delta y}^{\Phi}(p)B(C - E_{\Delta y}^{\Phi}(p)(pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p}))C + \overline{E_{\Delta y}^{\Phi}(p)B}^R \mu(p) + \eta(p)\overline{C}^L \quad (10)$$

где $\mu(p)$, $\eta(p)$ – произвольные дробно-полиномиальные матрицы соответствующих размеров.

Условия разрешимости уравнения (7), а значит и существования множества решений (10) имеет вид:

$$\begin{aligned} \overline{E_{\Delta y}^{\Phi}(p) B^L} (C - E_{\Delta y}^{\Phi}(p) (pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p})) &= 0, \\ (C - E_{\Delta y}^{\Phi}(p) (pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p})) \overline{C^R} &= 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Для случая синтеза по вынужденной составляющей из системы (8) найдем множество решений:

$$\begin{aligned} \overline{\{K(p)\}_{\eta, \mu}} &= \overline{\pi_x(p) B} (C - \overline{\pi_x(p)} (pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p})) C + \overline{\pi_x(p) B^R} \mu(p) + \eta(p) \overline{C^L}, \\ \overline{\{G(p)\}_{\kappa}} &= (\overline{\pi_x(p) B}) (E_{\Delta y}^g(p) - \overline{\pi_{x_M}} B_M) + \overline{\pi_x(p) B^R} \kappa(p), \end{aligned} \quad (12)$$

где $\mu(p)$, $\eta(p)$, $\kappa(p)$ – произвольные дробно-полиномиальные матрицы соответствующих размеров.

Условия разрешимости уравнений (8), а значит и существования множества решений (12) имеет вид:

$$\begin{aligned} \overline{\pi_x(p) B^L} (C - \overline{\pi_x(p)} (pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p})) &= 0, \\ (C - \overline{\pi_x(p)} (pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p})) \overline{C^R} &= 0, \\ \overline{(\pi_x(p) B)^L} (E_{\Delta y}^g(p) - \overline{\pi_{x_M}} B_M) &= 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Для случая синтеза по свободной и вынужденной составляющей из системы (9) получим множество матриц регулятора $K(p)$ и предкомпенсатора $G(p)$:

$$\begin{aligned} \overline{\{K(p)\}_{\eta, \mu}} &= \overline{E_{\Delta y}^{\Phi}(p) B} (C - E_{\Delta y}^{\Phi}(p) (pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p})) C + \overline{E_{\Delta y}^{\Phi}(p) B^R} \mu(p) + \eta(p) \overline{C^L}, \\ \overline{\{G(p)\}_{\kappa}} &= \overline{E_{\Delta y}^{\Phi}(p) B} (E_{\Delta y}^g(p) - (E_{\Delta y}^{\Phi}(p) B K(p) C_M - C_M) (pI_n - A_M)^{-1} B_M) + \overline{E_{\Delta y}^{\Phi}(p) B^R} \kappa(p). \end{aligned} \quad (14)$$

Условия разрешимости уравнений (9), а значит и существования множества решений (14) имеет вид:

$$\begin{aligned} \overline{E_{\Delta y}^{\Phi}(p) B^L} (C - E_{\Delta y}^{\Phi}(p) (pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p})) &= 0, \\ (C - E_{\Delta y}^{\Phi}(p) (pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p})) \overline{C^R} &= 0, \\ \overline{E_{\Delta y}^{\Phi}(p) B^L} (E_{\Delta y}^g(p) - (E_{\Delta y}^{\Phi}(p) B K(p) C_M - C_M) (pI_n - A_M)^{-1} B_M) &= 0. \end{aligned} \quad (15)$$

Заключение

Таким образом, были получены решения задачи синтеза (10), (12) и (14) с условиями существования этих решений (11), (13), (15) при синтезе по свободной, вынужденной, свободной и вынужденной составляющей рассогласования замкнутой динамической системы, которые позволяют найти множество матриц регулятора и предкомпенсатора, удовлетворяющих закону управления (6).

Литература

1. Филимонов А.Б. Спектральная декомпозиция систем с запаздываниями. Компенсация запаздываний. М.: Физматлит. – 2002. – 288 с.
2. Асанов А.З. Аналитическое конструирование адаптивной системы с эталонной моделью // Известия вузов. Авиационная техника. –2003. –№ 3. –С. 7–12.
3. Буков В.Н. Вложение систем. Аналитический подход к анализу и синтезу матричных систем.– Калуга: Издательство научной литературы Н.Ф. Бочкаревой, 2006. – 720 с.
4. Буков В. Н., Рябченко В. Н., Косьянчук В. В., Зябин Е. Ю. Решение линейных матричных уравнений методом канонизации // Вестник Киевского университета. Серия: Физико-математические науки. – Вып.1.– 2002.– С. 19–28.

Макарова И.В.,

д-р техн. наук, профессор,

Беляев Э.И.,

канд. техн. наук, доцент,

Иванова Е.Д.,

студент 1 курса магистратуры,

Ушкова Т.В.,

студент 1 курса магистратуры

ОПТИМИЗАЦИЯ ВАХТОВЫХ МАРШРУТОВ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В PTV VISUM

Транспортная система – одна из основных составных частей инфраструктуры города, обеспечивающей жизненно важные потребности насе-

ления. В связи с тем, что в последние десятилетия во многих крупных городах исчерпаны или близки к исчерпанию возможности экстенсивного развития транспортных систем, особую важность приобретают вопросы планирования, управления, совершенствования методов организации движения, оптимизация маршрутных сетей общественного транспорта.

Целью исследования являлось совершенствование вахтовых маршрутов с помощью построения имитационной модели крупнейшего в России центра нефтехимической промышленности - города Нижнекамска. В городе действуют нефтеперерабатывающие заводы, заводы по производству химической продукции, в том числе каучуков, смол, углерода и многих других химических соединений. Кроме того, на территории города размещены предприятия пищевой промышленности и по производству строительных материалов [1].

Городские пассажирские автобусные перевозки, а также вахтовые перевозки осуществляет единственное автотранспортное предприятие «НПАТП». Анализ существующей на сегодняшний день вахтовой маршрутной сети показал, что ее расписание и маршруты не оптимальны. Об этом свидетельствует перерасход ГСМ, а также частые сбои в расписании большинства рейсов в связи со сложной ситуацией на участках дорог в период повышенной интенсивности движения.

Для оптимизации функционирования вахтовых маршрутов на территории города Нижнекамск была разработана имитационная модель вахтовой сети города. Для построения модели маршрутов применялся программный продукт PTV Vision VISUM [2], который используется для моделирования транспортных потоков, транспортного планирования и оптимизации общественного транспорта: в городах, регионах, мегаполисах.

На начальном этапе для определения оптимальных маршрутов была построена матрица корреспонденций [3, с. 188]. Такие матрицы содержат важную информацию, которая характеризует распределение транспортных потоков на территории города. Вершинами графа в матрице являются остановки в жилых районах города Нижнекамска, а ребра – это показатели оптимальности для построения маршрутов. Для построения матрицы были определены места расположения остановок, с которых вахты будут забирать работников и параметры, по которым будет рассчитываться оптимальный маршрут. Было определено местонахождение 14 остановок (рисунок 1), соответствующих следующим принципам:

1. Остановки должны находиться на менее загруженных участках дорог, это необходимо для уменьшения временных затрат на осуществления посадки-высадки пассажиров;

2. Остановки должны находиться в местах с высоким пассажиропотоком.

Одним из основных параметров модели является интенсивность движения на участках. Этот параметр был рассчитан по данным натурных исследований. Учёт интенсивности потока на автомобильных дорогах выполнялся с автоматизированных пунктов с помощью автоматических средств регистрации движения [4, с. 42]. Интенсивность на участках была рассчитана относительно максимальной интенсивности, которая принималась равной 100% [5, с. 53].

В качестве второго параметра принималось время, затраченное на проезд данного участка, являющееся отношением расстояния между остановками к максимальной разрешенной скорости движения на данном участке дороги.

Третий параметр - затраты на ГСМ, в основе которого лежит средний расход топлива транспортными средствами рассматриваемого транспортного предприятия и расстояния между остановками на участке.

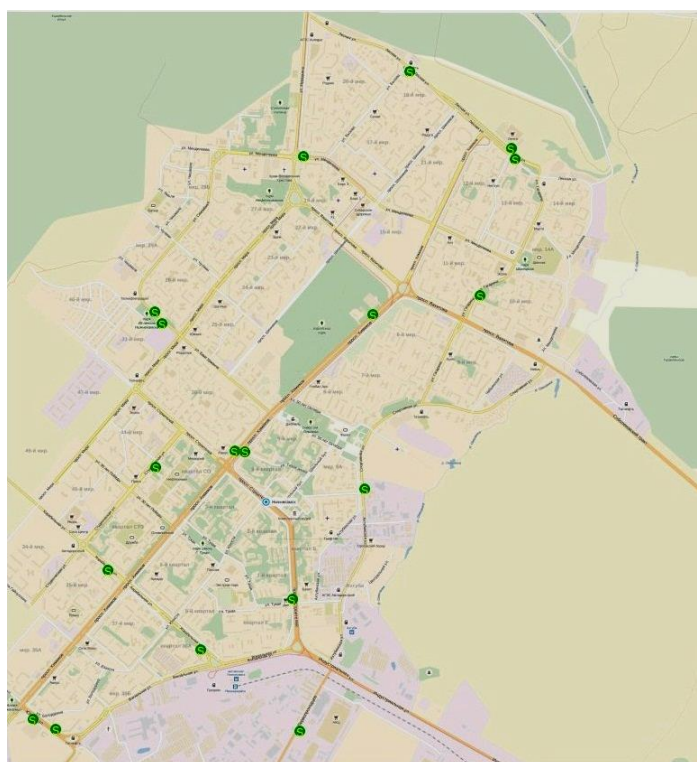


Рис. 1. Выделение остановок на карте Нижнекамска в VISUM

Для каждого отдельно взятого критерия были построены матрицы корреспонденций, которые затем объединялись в общую матрицу корреспонденций.

Главным критерием оптимизации является минимизация времени до-

ставки работников до предприятий при условии максимального количества пройденных остановок. Путь между двумя точками сети, имеющий минимальную обобщенную цену среди всех возможных путей, часто для простоты называют кратчайшим путем [6, с. 317; 7, с. 176].

С учетом данного критерия была построена матрица корреспонденций, отображенная в таблице 1. Здесь символом «0» обозначено расстояние от остановки до самой себя. В обозначениях также используется знак бесконечности, который показывает условное расстояние между остановками, которые никак не связаны между собой. Это позволяет принять длину данного отрезка пути в качестве условно бесконечно длинного.

С помощью оптимизационного аппарата VISUM была создана новая матрица корреспонденции, после анализа которой были сформированы новые маршруты.

Таблица 1

Матрица корреспонденций

Остановки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	42	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	54	42	55
2	42	0	57	∞	∞	∞	∞	78	∞	∞	∞	∞	78	90
3	∞	54	0	36	96	108	∞	42	∞	∞	∞	∞	∞	∞
4	∞	∞	34	0	18	60	∞	72	∞	∞	∞	∞	∞	∞
5	∞	∞	98	20	0	54	∞	72	∞	∞	∞	∞	∞	∞
6	∞	∞	106	61	54	0	60	78	∞	∞	∞	∞	∞	∞
7	∞	∞	∞	∞	∞	58	0	120	102	54	∞	∞	∞	∞
8	∞	79	42	75	76	80	118	0	84	∞	∞	∞	∞	∞
9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	97	87	0	42	66	∞	∞	60
10	∞	∞	∞	∞	∞	∞	55	∞	43	0	42	∞	∞	90
11	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	70	45	0	78	78	114
12	55	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	80	0	42	∞
13	43	77	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	76	44	0	60
14	54	87	∞	∞	∞	∞	∞	∞	61	7	112	∞	0	0

Новая матрица корреспонденций приведена в таблице 2. В данной матрице 1 – параметр оптимальности маршрута, 0 – параметр, свидетельствующий о не оптимальности движения к следующей остановке. Так как в матрице используется переменная времени, то расписание определяется в зависимости от суммы затраченного времени между остановками всего маршрута.

В результате полученный вариант отвечает необходимым критериям:

маршруты проходят через требуемые остановки города Нижнекамска, при этом затрачивается минимальное количество временных и материальных ресурсов на дорогу. Новая маршрутная сеть приведена на рисунке 2.

Таблица 2

Новая матрица корреспонденций

Остановки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
14	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0

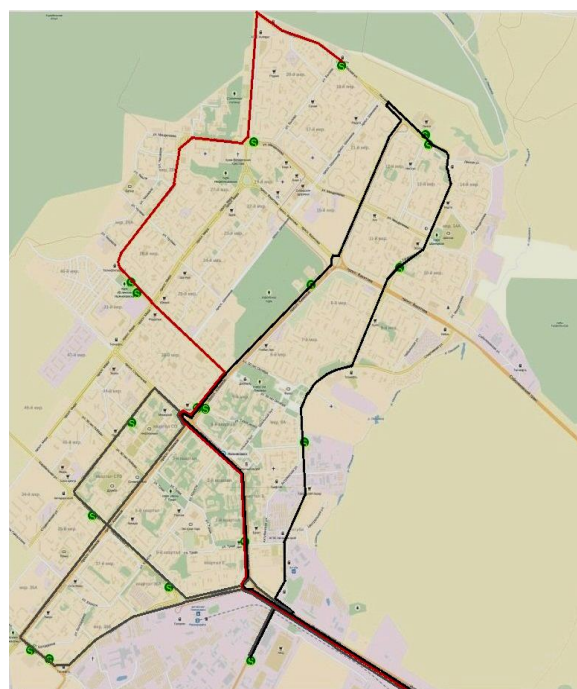


Рис. 2. Полученные оптимальные маршруты

В таблице 3 приведено сравнение характеристик исходного и оптимизированного вариантов вахтовых маршрутов.

Таблица 3

Показатели начальных и конечных маршрутов

Показатели	Начальный вариант	Конечный (полученный) вариант	Абсолютная величина отклонений (+/-)
Количество маршрутов	2	3	+1
Средняя длина одного рейса, км	17	12	-5
Среднее количество остановок одного рейса	8	5	-3
Общее время одного рейса, мин	50	30	-20
Рейсы, выходящие за рамки требуемого времени, %	40	5	-35
Перерасход ГСМ, %	60	10	-50
Вероятность ДТП, %	37	11	-26

Как следует из таблицы 3, поскольку маршруты станут укороченными, то снизится вероятность нарушения графика движения. Уменьшение протяженности совпадающих участков для разных маршрутов снизит нагрузку на улично-дорожную сеть города, что приведет к снижению вероятности ДТП. Кроме того, снижение вероятности движения автобусов в условиях заторовой ситуации на дорогах, приводящих к работе двигателя в неоптимальных режимах, позволит уменьшить расход топлива и негативное воздействие на окружающую среду.

Выводы

Таким образом, полученная путем моделирования маршрутная сеть, удовлетворяя всем вышеуказанным критериям, является более рациональной по ряду факторов. Внедрение предложенного варианта вахтовых перевозок в г. Нижнекамске позволит не только повысить эффективность и устойчивость системы общественного транспорта, но и будет иметь положительные экологический и социальный эффекты.

Литература

1. Промышленность Нижнекамска. [Электронный ресурс]. 2011. Дата обновления: 5.01.2016. URL: <http://www.wiki-prom.ru/city/219city.html>. Дата обращения 15.01.2016.
2. PTV PARTNER. Visum: [Электронный ресурс] //. 2010. Дата обновления 23.12.2015. URL: <http://www.ptv-vision.ru/produkty/visum>. Дата обращения 15.01.2016.
3. Боровиков А.В. Разработка эффективной матрицы корреспонденции транспортной сети г. Барнаула / А.В. Боровиков, Д.Ю. Каширский, С.А. Ульрих, В.И. Ведяшкин // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4/3. – С. 185-189.
4. Irina Makarova, Rifat Khabibullin, Eduard Belyaev and Vadim Mavrin Increase of City Transport System Management Efficiency with Application of Modeling Methods and Data Intellectual Analysis // Intelligent Transportation Systems – Problems and Perspectives, Springer International Publishing AG Switzerland is part of Springer Science+Business Media. 2015. P. 37-80.
5. Пузиков А.В. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей: канд. техн. наук. Волгоград, 2011.
6. Гасникова А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. М.: Мир, 2010. с. 417.
7. Строгалев В.П., Имитационное моделирование систем. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. с. 281.

Макарова И.В.,
д-р техн. наук, профессор,
Хабибуллин Р.Г.,
д-р техн. наук, профессор,
Тихонов Д.П.,
магистрант

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ

Одной из задач реализации целей устойчивого развития (ЦУР), сформулированных на Генеральной Ассамблее ООН в 2015 году является сокращение вдвое к 2020 г. числа случаев смерти и травм в результате до-

рожно-транспортных происшествий (ДТП) [1]. В докладе Всемирной организации здравоохранения отмечается, что практически половина жертв дорожно-транспортных происшествий (ДТП) - наименее защищенные пользователи дорог: мотоциклисты (23%), пешеходы (22%) и велосипедисты (4%) [**Ошибка! Закладка не определена.**].

Концепция развития транспорта в России включает мероприятия по преимущественному развитию общественного транспорта, обеспечению безопасного пешеходного и велосипедного движения и использования транспортными потоками определенных маршрутов. Важным инструментом организации движения при реализации транспортной концепции является светофорное регулирование.

Принятие решений по изменению схемы управления движением, в особенности в крупных городах и мегаполисах, может быть вызвано различными причинами: созданием новых центров притяжения, появлением новых микрорайонов, изменением конфигурации улично-дорожной сети и маршрутной сети общественного транспорта. Ситуация усугубляется интенсивным ростом уровня автомобилизации. Важным инструментом организации движения при реализации транспортной концепции является светофорное регулирование. С помощью светофорного регулирования может быть серьезно улучшено качество движения в целом по УДС, а также на перегонах и на пересечениях.

Во многих странах на переходах очень популярны кнопочные светофоры. Они позволяют не останавливать автомобили, если никто не переходит улицу, а пешеходам гарантируется минимально возможное ожидание зеленого сигнала светофора. Главным преимуществом кнопочных светофоров является однозначность восприятия ситуации на переходе, как водителями, так и пешеходами.

В таких условиях для принятия научно-обоснованных управленческих решений часто применяют имитационное моделирование.

Исследования в области обеспечения безопасности пешеходов

Вопросы повышения безопасности и устойчивости транспортной системы являются одними из самых актуальных во многих странах. Сложность их решения вызвана множеством разных факторов, значительной частью которых сложно управлять ввиду их слабой формализуемости. Одной из проблем является управление взаимодействием между пешеходным и транспортным потоками. Как свидетельствуют статистические данные, жертвами ДТП часто становятся пешеходы, а особую озабоченность вызы-

вает тот факт, что ежегодно во всем мире 186 300 детей умирает в результате ДТП [2]. Многочисленные работы в области безопасности дорожного движения посвящены выяснению причин такой ситуации и поиску путей решения проблемы.

Для оценки рисков и разработки мер по повышению безопасности пешеходов предлагаются различные решения. Так, автор статьи [3] предлагает модель оценки влияния времени ожидания на число нарушения пешеходами правил перехода.

Моделирование является важным и надежным инструментом оценки предлагаемых решений, направленных на повышение безопасности пешеходов. Так, авторы работы [4] предлагают методологию оценки требуемой ширины пешеходного перехода при разных комбинациях спроса пешеходов и заранее определенным уровнем сервиса (Level of Service - LOS). Авторы работы [5] для имитации взаимодействия между транспортом и пешеходами используют имитационную модель, в основе которой лежат клеточные автоматы. Для определения оптимальной продолжительности сигнала светофора используются модели двунаправленного пешеходного потока [6].

Наиболее эффективным методом и практически единственным способом получения достоверной информации о состоянии дорог и анализа ситуации на дорогах города с целью оптимизации управления его транспортной системой являются натурные исследования. Они заключаются в фиксации конкретных условий и показателей дорожного движения, фактически происходящего в течение заданного периода времени и позволяют выявить наиболее проблемные участки УДС.

Улучшить качество и ускорить получение оперативной информации позволит реализация программы «Безопасный город», в соответствии с которой до конца 2016 года в г. Набережные Челны будут установлены 1020 видеочамер (Рис. 1). Это обеспечит возможность принятия адекватных оперативных управленческих решений, а также корректировки стратегий долгосрочного развития транспортной системы.



Рис. 1. Концептуальная схема управления движением

Исследования влияния светофорного регулирования на повышение безопасности пешеходов

В результате анализа данных, полученных в ГИБДД и в ходе наблюдений, было выявлено, что местом повышенной концентрации ДТП, связанных с наездами на пешеходов и велосипедистов является проспект «Чулман». Это обусловлено тем, что при достаточно высокой плотности и скорости транспортного потока, на проспекте практически нет регулируемых пешеходных переходов. В то же время, значительная часть проспекта граничит с местами постоянного отдыха горожан, расположенных в лесопарковой зоне. Кроме того, в этой части города расположены школы, детские сады, спортивно-оздоровительные центры.

Для мониторинга транспортного и пешеходного потоков были выбраны три нерегулируемых пешеходных перехода (Рис.2.), расположенных в непосредственной близости от спортивных сооружений, школ, детских садов.



Рис. 2. Расположение нерегулируемых пешеходов

Как было установлено в результате видеосъемки, на данных участках зачастую наблюдается с превышением транспортом скоростного режима (60 км/час), а также нарушение правил проезда нерегулируемых пешеходных переходов, результатом чего являются частые наезды на пешеходов на данных участках.

Исследование проводилось с использованием видеокамер с последующей компьютерной обработкой изображений в будние дни в часы пиковой нагрузки по следующему графику: 1) 07:00-10:00; 2) 17:00-20:00.

В результате проведенных исследований было установлено, что средняя скорость транспортного потока составляет 50-65 км/час. При движении со скоростью потока тормозной путь составляет порядка 40 метров. Разделительная полоса с зелеными насаждениями на протяжении всего проспекта ограничивает видимость для водителей. Этот фактор наряду с высокой скоростью потока и недостаточной освещенностью участка в темное время суток, делает его потенциально опасным для пешеходов, переходящих проспект.

Для более детального анализа участка была построена его имитационная модель, в которой учитывались: геометрия участка; плотность и интенсивность транспортного потока, интенсивность пешеходопотока.

Исходными данными при построении модели служили обработанные результаты видеонаблюдения. После верификации и валидации модели проводился оптимизационный эксперимент, который позволил определить параметры транспортного и пешеходного потоков при нормальной и пиковой нагрузках (Рис. 3).

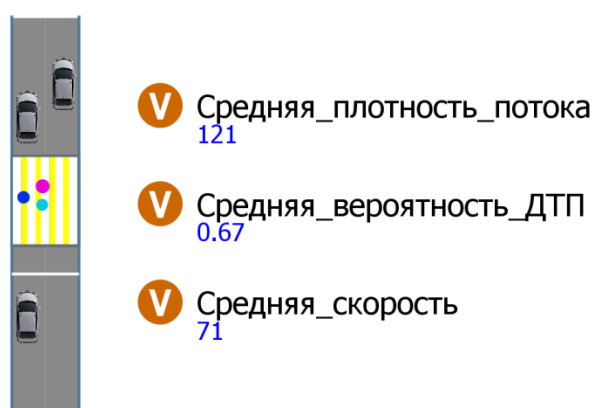


Рис. 3. Имитационная модель без светофора

Нами была выдвинута следующая гипотеза: установка светофорного объекта с кнопкой принудительного включения зеленого сигнала пешехо-

дам приведет к снижению риска наездов на пешеходов, при этом существенно не отразится на скорости транспортного потока на данном участке.

Такое решение в условиях нестационарного потока пешеходов, значительной частью которого являются дети, позволит сократить влияние поведенческого фактора на безопасность пересечения проезжей части. В то же время, светофорное регулирование перехода повысит концентрацию внимания водителя, при этом незначительно отразится на средних значениях параметров транспортного потока.

Для проверки гипотезы была выполнена модификация модели с применением светофорного регулирования (рис. 4).



Рис. 4. Имитационные модели с обычным и кнопочным светофором

В модели методом перебора, основанном на метаэвристике, были определены наиболее подходящие параметры светофорного регулирования, позволяющие обеспечить возможность пешеходам безопасного перехода через проспект, а транспортным средствам беспрепятственного преодоления данного участка.

Заключение

Исследования показали, что имитационные модели могут стать хорошим инструментом принятия управленческих решений по повышению безопасности пешеходов на переходах. Выбор оптимального интервала сигнала светофора позволит снизить вероятность ДТП с пешеходами, при этом параметры транспортного потока изменятся незначительно. Качество решений будет зависеть от качества исходной информации, которое повысится после реализации программы «Безопасный город».

Литература

1. Global status report on road safety 2015. URL: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/GSRRS2015_Summary_EN_final2.pdf?Ua=1. Дата обращения 07.02.2016.
2. Ten strategies for keeping children safe on the road. URL: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/162176/1/WHO_NMH_NVI_15.3_eng.pdf?ua=1&ua=1. Дата обращения 07.02.2016.
3. Baibing Li. A model of pedestrians' intended waiting times for street crossings at signalized intersections. *Transportation Research Part B* 51 (2013) 17–28.
4. Wael K.M. Alhajyaseen, Hideki Nakamura. Quality of pedestrian flow and crosswalk width at signalized intersections. *IATSS Research* 34 (2010) 35–41.
5. Peng Chen, Chaozhong Wu, Shunying Zhu. Interaction between vehicles and pedestrians at uncontrolled mid-block crosswalks. *Safety Science* 82 (2016) 68–76.
6. Jodie Y.S. Lee William H.K. Lam. Simulating pedestrian movements at signalized crosswalks in Hong Kong. *Transportation Research Part A* 42 (2008) 1314–1325.

Мингалеева Л.Б.,

канд. пед. наук, доцент

Принципы построения информационно-мониторинговой системы развития моногорода с использованием современных технологий

В кризисном 2009 г. Президент РФ в очередном Послании Федеральному Собранию назвал проблему моногородов в числе приоритетных: “...нам необходимо принять оперативные меры, чтобы не допустить резкого падения уровня жизни в моногородах. Это задача органов власти всех уровней и руководства предприятий”.

Мероприятия по поддержке малого и среднего предпринимательства в монопрофильных муниципальных образованиях включены в перечень мер, направленных на обеспечение стабильного развития монопрофильных населенных пунктов (моногородов), на 2013-2018 годы, утвержденный Первым заместителем Председателя Правительства Российской Федерации И.И. Шуваловым от 28 февраля 2013 г. № 1062п-П16.

В данном исследовании ставится задача: провести теоретический анализ проблем и перспектив развития моногородов, осуществить анализ передового опыта, практики реализации информационных систем (ИС) различного назначения, обосновать основные принципы проектирования и реализации ИС, выбрать инструментарий современных информационных технологий для создания ИС, разработать комплекс алгоритмов и программ.

Проблемы моногородов сейчас привлекают многих исследователей. В работах Ишимова В.М., Капицына В.М., Зубаревич Н.В. рассмотрены возможности сбалансировать взаимодействие факторов - города, крупного бизнеса и государственной власти - в программах устойчивого развития монопрофильных городов (моногородов) [4].

В статьях Е. Коломак изучается эволюция городской системы России, тестируется гипотеза об изменении пространственного равновесия при переходе к рыночным отношениям [5]. Методами анализа выступают оценки функций и распределения и регрессионные уравнения. Автором сделано заключение об изменении урбанистической модели страны, усилении агломерационных процессов и росте неоднородности городской системы.

В ряде работ Н.С. Ивашиной и Н.А. Улякиной обобщены критерии отнесения территориального образования к категории монопрофильных городов. Е.М. Петрикова приводит отраслевую структуру моногородов [6].

Общей характерной чертой моногородов являются ограниченные экономические возможности для их жителей и хозяйствующих субъектов, Попытка же решить проблему моногородов только за счет развития малого бизнеса, по мнению академика А.И. Татаркина, может лишь смягчить остроту данной проблемы. Характер промышленности в ряде российских городов исторически остается однополярным.

По мнению ряда авторов (Ю. Рягин, М. Зайков, В. Зайкова), путь их развития можно выбирать, исходя из предположения, что распределение направлений по видам производств для региона в целом должно быть близко к статистически нормальному [7].

Во многих работах (Г. Антонов, О. Иванова, И. Антонова) производятся оценки проектов диверсификации экономики моногорода [8]. Диверсификация, на основе предложенного математического алгоритма, по мнению авторов, позволит уменьшить количество депрессивных моногородов как концентраторов социального напряжения в российском обществе.

В рамках решения поставленных задач информационная система (ИС) рассматривается как взаимосвязанная совокупность средств, методов и

персонала, используемая для хранения, обработки и выдачи информации в интересах достижения поставленной цели. Выделим элементы ИС – это компьютеры, компьютерные сети, люди, информационное и программное обеспечение, которое рассматривается и как одно целое, и как совокупность разнородных элементов, объединенных для производства профессиональной информации.

Как известно, информационные системы обеспечивают сбор, хранение, обработку, поиск и выдачу информации, необходимой в процессе принятия решений задач из любой области. Они помогают анализировать проблемы и создавать новые продукты. Цель любой информационной системы – обработка данных об объектах реального мира. Компьютеры, оснащенные специализированными программными средствами, являются технической базой и инструментом для ИС. Техническое воплощение информационной системы само по себе ничего не будет значить, если не учтена роль человека, для которого предназначена производимая информация и без которого невозможно ее получение и представление. Функционирование ИС предполагает ввод информации из внешних или внутренних источников; обработку введенной (исходной) информации и представление её в удобном виде; вывод информации для предоставления потребителям или передачи в другую систему; осуществление обратной связи – информация, переработанная персоналом данной организации, необходима для коррекции исходной информации.

Любая ИС может быть подвергнута анализу, построена и управляема на основе общих принципов построения систем. При выявлении возможностей компьютерной ИС для поддержки процесса принятия решений следует учитывать:

- структурированность решаемых управленческих задач;
- уровень иерархии управления фирмой, на котором решение должно быть принято;
- принадлежность решаемой задачи к той или иной функциональной сфере бизнеса;
- вид используемой информационной технологии.

Технология работы с ИС должна быть доступна для понимания специалистом любой предметной области, может быть успешно использована для контроля информационных процессов и управления ими. Внедрение ИС способствует получению рациональных вариантов решения управленческих задач; автоматизации рутинных процессов; обеспечению достоверности информации; замене и снижению объема бумажных документов; совершенствованию структуры потоков информации и

системы документооборота; уменьшению затрат на производство продуктов и услуг; предоставлению потребителям уникальных услуг; отысканию новых рыночных ниш.

При обследовании существующих ИС выявляется целый комплекс типичных недостатков: чрезвычайно большой объем документов для ручной обработки; одни и те же показатели часто дублируются в разных документах; имеются показатели, которые создаются, но не используются, и др. Устранение указанных недостатков является одной из задач, стоящих при создании информационно-мониторинговой системы моногорода.

Разрабатываемая информационно - мониторинговая система предназначена для контроля, принятия решений и администрирования. Ее основные функции: сравнение показателей с прошлыми; составление отчетов за определенное время; обеспечение доступа к архивной информации. Для ее реализации выбрана среда разработки Visual Studio и язык высокого уровня С#. Вид главного меню на рис.1. Импорт информации с поисковых систем представлено на рис.2.

Одним из основных принципов создания информационных систем, позволяющих осуществлять функции мониторинга, является принцип обработки информации в режиме реального времени. Современная вычислительная техника и ИТ позволяют это сделать.

Базовые принципы построения ИС сформулированы еще в начале 80-х годов В.М. Глушковым [1, с.110].

Принцип системности – главный принцип на всех этапах создания и эксплуатации ИС. К объекту подходят как к единому целому. Между структурными элементами выявляют всевозможные связи. При этом рассматриваются все информационные связи системы с внешней средой, так называемый макроанализ. А также изучается структура объекта, его элементы, свойства, методы, способы функционирования, т.е. микроанализ.

Принцип непрерывного развития говорит о том, что система готова к изменениям, расширениям функций, корректировкам, совершенствованиям инструментальной базы. Процессы управления характеризуются высокой динамикой. В процессе информационной деятельности информационные потребности пользователей изменяются, сопровождение ИС в процессе эксплуатации должно быть предусмотрено.

Принцип совместимости предполагает, что системы различных уровней и видов могут совместно взаимодействовать и должны быть открытыми.

Принцип стандартизации и унификации реализуется тем, что в системе применяются типовые современные офисные пакеты. В том числе, MS

EXCEL и MS Word, что позволяет сократить разнообразные издержки (на создание и на внедрение ИС).

Все это органично предполагает также соблюдение принципа экономической целесообразности.

На основе анализа передового опыта разработки ИС, мы должны убедиться, что проект реализует принцип новых задач. Разрабатываемая система должна содержать инновационные решения и приемы управления. Опыт показывает, что часто применяя новые ИТ, мы просто автоматически переносим все функции ИС на новый инструментарий.

Принцип участия управленческого аппарата в разработке системы, предполагает, что пользователи участвуют в разработке, целей, требований к системе, во внедрение всех информационных технологий, методов обработки информации.

Принцип всесторонней подготовки пользователей – обучение персонала, методам работы при функционировании ИС.

Принцип структурного проектирования заключается в том, что ИС разбивается на отдельные части. В настоящее время вопрос об улучшении качества жизни населения моногородов и повышении устойчивости к негативным факторам внешней среды получил широкое распространение. Но решить его без комплексной оценки текущего социально-экономического состояния не представляется возможным.

Сегодня в России насчитывается 342 моногорода, экономика которых опирается на одно или несколько связанных между собой производств. В них проживает порядка 16 млн. человек. В силу естественного для рыночной среды падения объемов выпуска продукции неэффективных предприятий и их банкротства благополучие трудоспособного населения в таких моногородах стало существенно зависеть от действующих предприятий.

Уже многие десятилетия в моногородах концентрируется социальное напряжение. В 142 из них уровень безработицы выше среднего по стране, а в 51 — существенно выше.

Проблема моногородов на сегодня может существенно усугубиться и требует системного подхода. Предлагается много способов ее решения, однако соответствующие экономико-математические модели оказываются либо излишне сложными, либо мало применимыми в реальных условиях.

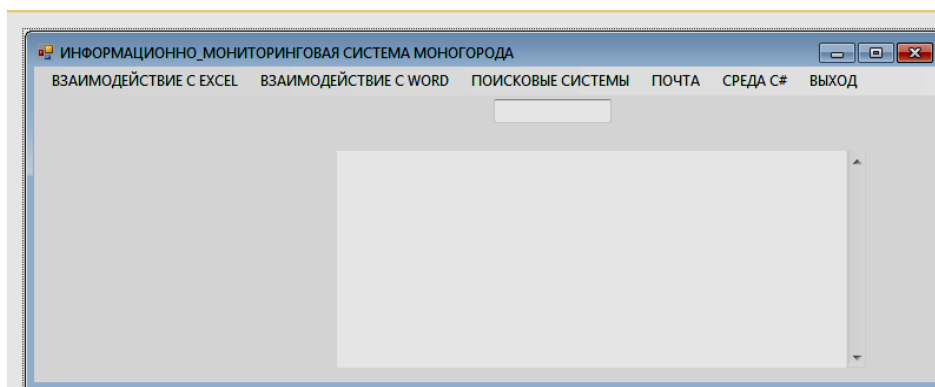


Рис.1 - Главное меню ИС

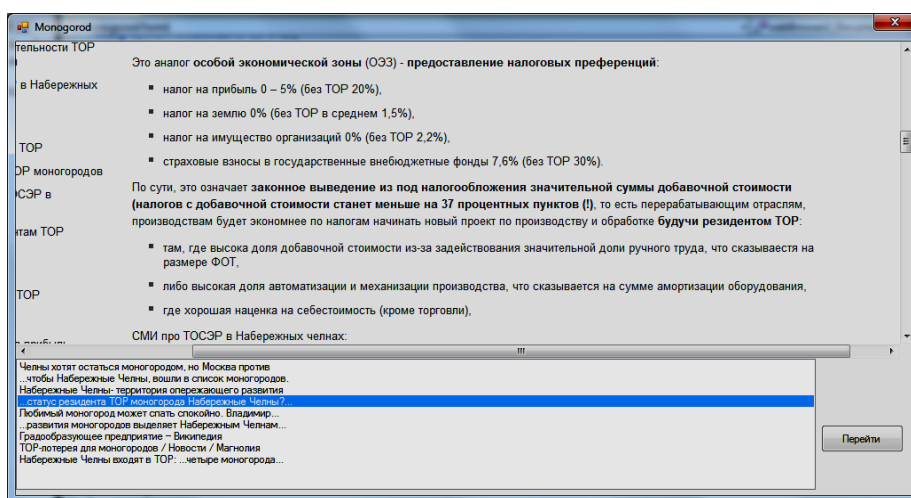


Рис.2 - Использование поисковых систем в ИС

Литература

1. Глушков В.М. Беседы об управлении / В.М. Глушков. М.: Издательство «Наука», 2010. 270 с.
2. База данных статистического портала Мультистат "Экономика городов России". [Электронный ресурс]. url: <http://www.multistat.ru/>. Дата обращения 10.12.2014.
3. Отчеты Федеральной службы государственной статистики. [Электронный ресурс]. url: <http://www.gks.ru/>. Дата обращения 15.11.2015.
4. <http://www.elar.urfu.ru/>
5. <http://www.lib.ieie.nsc.ru/>
6. <http://www.eco.mia-letum.ru/>
7. <http://www.twirpx.com/file/1614586/>
8. <http://portal.tpu.ru/>

Формирование структуры рационального технологического процесса обработки металлов давлением с использованием пакетов компьютерного моделирования

Объемная штамповка является производительным, экологичным процессом и широко распространена в машиностроении, приборостроении и других отраслях промышленности. Она обеспечивает высокое качество изделий и экономию металла, но с усложнением формы поковок значительно возрастают затраты и увеличивается время на разработку технологии штамповки. Неизбежные ошибки технологии (низкий коэффициент использования металла, недоштаповка, складки) до недавнего времени устранялись методом проб и ошибок в ходе доводки технологии непосредственно на рабочем оборудовании, что вело к большим затратам времени и средств. Решение данной проблемы было найдено в автоматизации процесса моделирования изготовления детали.

Сложность и многосвязность факторов, влияющих на процесс объемной ОМД, не позволяет в процессе проектирования основываться только на аналитической информации, закладываемой в алгоритмы информационной системы, а требует привлечения эмпирических данных.

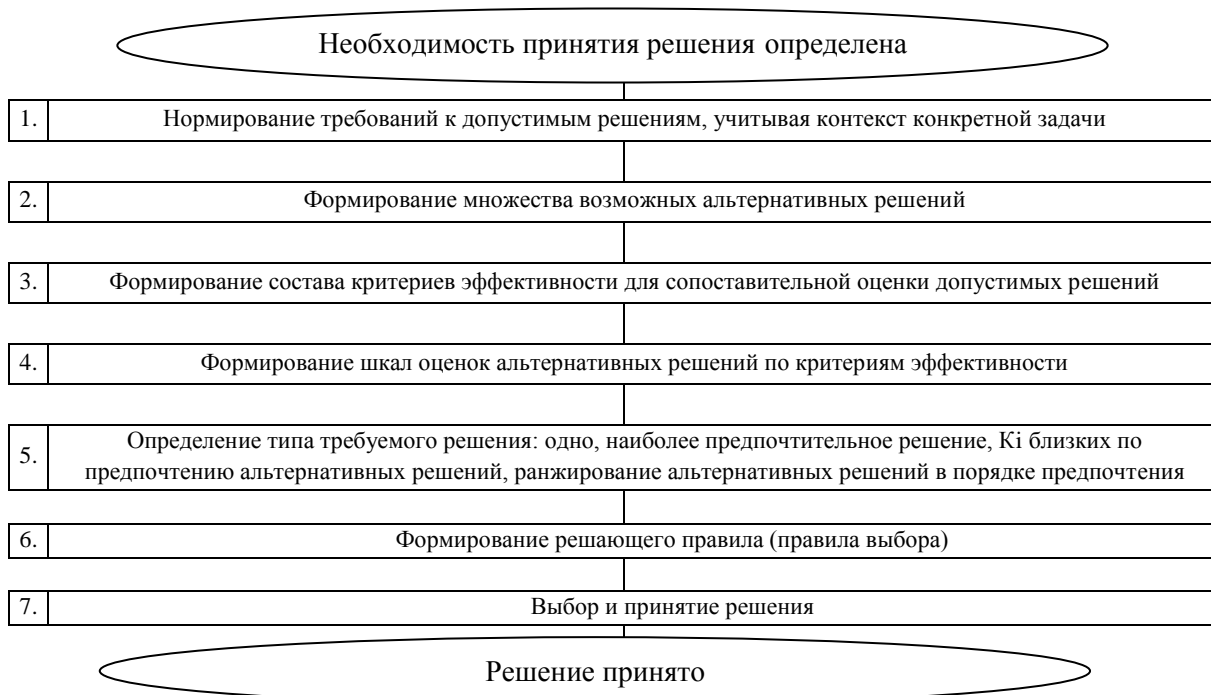


Рис. 1. Типовая схема принятия решений, реализуемая на различных этапах процесса проектирования (линейная проекция)

Представленная на рис. 1 типовая схема, основанная на методологии принятия многокритериальных решений [1, 2], может служить базой для составления, как обобщенного маршрута проектирования технологии объемной штамповки, так и его этапов, обеспечивая при этом полноту информации.

Постановка задачи проектирования обычно составляет цель первого, основного из выделяемых подпроцессов проектировочной деятельности.

На данном этапе необходимо:

1. Описать продукт технологии.
2. Описать требования к среде функционирования.
3. Описать требования к средствам технологического оснащения
4. Идентифицировать тип ТП, подлежащего проектированию.
5. Выбрать концепцию и процедурную модель проектирования ТП
6. Выбрать прототип ТП
7. Описать предмет ТП
8. Описать требования к внешним свойствам ТП
9. Описать ограничения на внутренние свойства ТП
10. Определить и описать критерии совершенства ТП

Результаты, полученные при решении двух первых подэтапов, составляют содержание конструкторско-технологической модели.

Структуру конструкторско-технологической модели детали можно представить следующим образом:

$$Q_{KT} = \langle C_D, K_D \rangle,$$

где C_D – общие сведения о детали;

$$C_D = \langle N, M, H, T \rangle,$$

где N – наименование и чертежный номер детали;

M – масса детали по конструкторскому документу;

H – марка и физико-химические свойства материала;

T – организационно-технические, экономические и экологические требования к процессу производства детали;

K_D – структурный состав детали;

$$K_D = \langle E_{KT}, O_{KT} \rangle,$$

где $E_{КТ}$ – множество конструктивно-технологических элементов (КТЭ);

$$E_{КТ} = \langle P, (G_E, O_E), C_{КТ} \rangle,$$

где $C_{КТ}$ – множество ограничений на параметры и структуру КТЭ;

P - параметры описывающие КТЭ;

G_E - множество элементов представления КТЭ;

O_E - множество отношений над элементами КТЭ;

$O_{КТ}$ - множество отношений над КТЭ.

К параметрам, описывающим КТЭ, относятся:

- геометрические символы и размеры;
- система координат КТЭ;
- шероховатость;
- дефектный слой;
- точность размеров и формы.

Для решения неформализуемых либо трудноформализуемых задач в настоящее время разработчики прикладных автоматизированных систем уделяют большое внимание приданию интеллектуальных функций информационно-технологическим системам. Результатом должно быть создание интеллектуальной системы, позволяющая генерировать различные варианты технических решений, исходя из сведений о технологическом назначении проектируемого объекта, что будет являться своего рода аналогом творчества специалиста – генератора идей. Ведь жесткая конкуренция на рынке машиностроительной продукции предопределяет необходимость постоянного совершенствования и развития производства.

Автоматизированные информационные системы представляют широкий класс программного обеспечения используемого для автоматизации бизнес процессов предприятия.

Основной проблемой оптимального управления бизнес-процессами является:

- постоянно возрастающая динамичность рынка товаров и услуг;
- совершенствование технических возможностей производителей;
- постоянно возрастающая конкуренция.

Эти проблемы стали причиной необходимости сместить акценты с управления отдельными функциональными подразделениями (например, Конструкторский отдел, Отдел главного технолога и т.п.) на управление

сквозными бизнес-процессами, которые обеспечивают эффективную и взаимосогласованную деятельность подразделений предприятия.

Одной из главных задач любого предприятия является построение и внедрение автоматизированной информационной системы, работающей как «единый организм» для управления сквозными бизнес процессами. Будущие возможности информационной системы предприятия в целом во многом определяет выбор правильного подхода и технологий интеграции систем и приложений различного целевого назначения.

Первоочередной задачей является полная автоматизация технической подготовки производства, потому что этот этап включает в себя конструкторскую, технологическую и организационную подготовку производства. Именно подготовка производства стала основным препятствием.

Различные CAD/CAM/CAE-системы хранят геометрическую модель в форматах, структура которых различна. Поэтому для переноса данных необходимо преобразовать данные одной системы в формат другой. Для переноса данных между двумя системами в противоположном направлении необходим еще один конвертер. Из этого следует, что для каждой пары систем необходимо иметь два конвертора (рис 2,а).

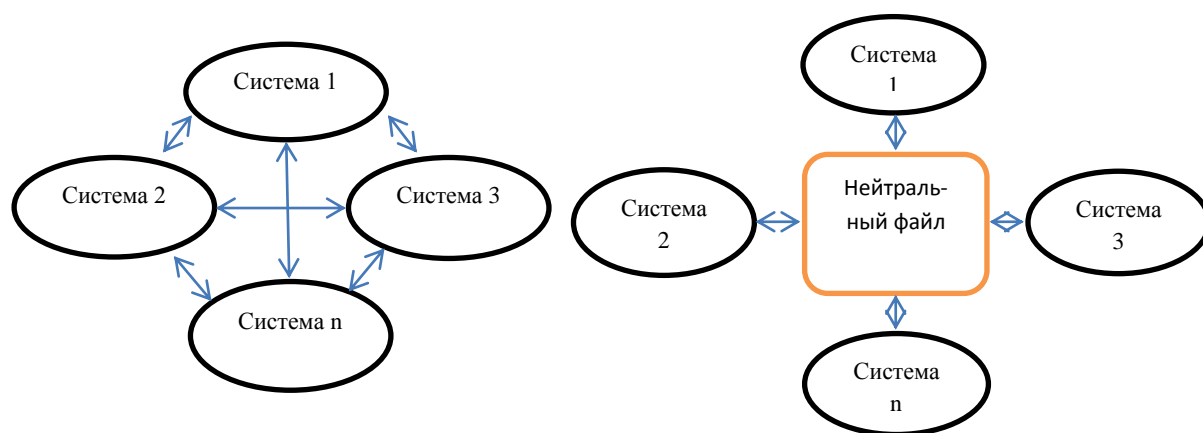


Рис. 2. Методы обмена данными между системами

Эти конверторы для каждой конкретной пары систем называются прямыми конверторами. Если есть n различных систем, то будет необходимо разработать $n*(n-1)$ конверторов, поскольку количество пар систем равно $n*(n-1)/2$. Следовательно, метод прямого конвертирования непрактичен, так как требует разработки слишком большого количества конверторов при необходимости работать со множеством систем. Кроме того, добавление одной системы к n уже имеющимся потребует написания $2*n$ дополнительных конверторов.

Таким образом, метод прямого конвертирования является непрактичным, потому что требует разработки слишком большого количества конверторов при необходимости работать с множеством систем.

Также обмен данными может быть достигнут благодаря использованию нейтральной структуры базы данных, называемой нейтральным файлом (neutral file), которая была бы независима от существующих САПР. Эта структура действует как промежуточный интерфейс между различными структурами баз данных САПР (рис. 1, б). Таким образом, в каждой системе будет своя пара конверторов для экспорта и импорта данных в этот нейтральный формат. Этот косвенный метод свободен от присущего прямому методу недостатка, когда требовалось писать все возрастающее количество конверторов.

Наиболее популярными нейтральными форматами для обмена данными между САД-системами являются: IGES, DXF, STEP.

Популярность AutoCAD стала причиной того, что формат DXF стал стандартом де-факто для обмена электронными чертежами. Недостатками DXF являются сложная структурная организация (структура файла) и большое пространство, которое необходимо для его хранения. Несмотря на недостатки, формат обладает преимуществом - воспринимается практически всеми подсистемами САПР. Данное преимущество достигается, в частности, благодаря тому, что DXF - файлы являются текстовыми файлами в коде ASCII и могут быть преобразованы в форматы других систем.

Однако данный метод также не лишен своих недостатков. Например, при переносе данных технических требований через нейтральный файл, некоторая информация, обычно, теряется, особенно информация о топологическом дереве и ограничениях в системах параметрического моделирования.

В идеале обмен между системами различного целевого назначения должен обеспечивать гораздо больше, чем просто передачу геометрической информации. Важной составляющей автоматизированного процесса технической подготовки является надежная передача производственной информации от конструктора из САД-системы технологу в САМ-систему.

Литература

1. Ларичев О.И. Методы многокритериальной оценки альтернатив // Многокритериальный выбор при решении слабоструктурированных проблем. М.: ВНИИСИ, 1978. с.5-29.(тр. ВНИИСИ, вып.5).

2. Ларичев О.И. Методы многокритериальной оценки альтернатив// Многокритериальный выбор при решении слабоструктурированных проблем. М.: Наука, 1979. 200с.

Насибуллин Р.Т.

канд. техн. наук, доцент

Моделирование интегрированного стартер-генераторного устройства для автомобилей КАМАЗ

Одним из направлений модернизации систем электрооборудования современных автомобилей является интеграция стартера и генератора в одной электрической машине. Такое решение позволяет отказаться от множества механических передач, что сведет к увеличению надежности всей системы. До настоящего времени СГУ находили применение лишь для узкого класса машин.

В последние годы разработано несколько экспериментальных образцов СГУ для зарубежных и отечественных автомобилей, которые в настоящее время проходят испытания.

Однако для широкого внедрения СГУ в современные автомобили необходимо большое число различных моделей СГУ, каждая из которых унифицирована по конкретные серии автомобилей. Для этого необходима большая теоретическая база и общие модели СГУ, которые впоследствии можно будет унифицировать. Поэтому было принято решение: разработать математическую модель СГУ, на которой можно проверить основные режимы работы устройства и которую можно будет подстраивать под различные входные и выходные параметры.

Исходя из вышесказанного, разработка математической модели интегрированного стартер-генераторного устройства является актуальной задачей.

В качестве электрической машины для СГУ возможно использовать синхронную электрическую машину переменного тока, машину постоянного тока или вентильно-индукторную машину. При данных решениях одна электрическая машина работает в двух режимах: двигательном и генераторном. На основе анализа достоинств и недостатков указанных электрических машин выбор был сделан в пользу реактивной вентильно-индукторной машины, которая характеризуется меньшими трудоемкостью и материалоемкостью, высокой надежностью и хорошая управляемость в двигательном режиме при высоких пусковых моментах [1]. У ВИМ отсутствуют обмотки на роторе, работа ВИМ осуществляется за счет согласо-

ния положений зубцов статора и ротора при различных направлениях напряжения и тока в обмотках статора.

Если напряжения на фазы подаются до прихода зубцов ротора и статора в согласованное положение, машина будет работать в режиме двигателя. Принцип работы аналогичен работе реактивного шагового двигателя. Для перехода к генераторному режиму ВИМ необходимо сместить время подачи импульса напряжения в момент согласованного положения или при подходе к нему. Импульс напряжения, поданный на катушки фазы, создаст магнитный поток, являющийся потоком возбуждения генератора. При этом в других фазах машины под действием этого магнитного потока будет индуцироваться ЭДС [2].

Для реализации таких режимов система управления СГУ должна содержать датчик положения ротора, посредством которого будет определяться относительно положение зубцов ротора и статора.

В основу математической модели положены нелинейные дифференциальные уравнения электрической цепи содержащей переменные индуктивности обмоток и уравнения движения.

$$\left\{ \begin{array}{l} k = 0 \dots N \\ d\Psi_{\phi k+1} = (u_k - r_{\phi} \cdot i_{\phi k} (\Psi_{\phi k}, \theta_k) dt + \Psi_{\phi k} \\ M(\theta_k, i_{\phi k}) = \frac{1}{2\Delta\theta} \sum_{n=0}^L \left(\Psi \left(\theta_k + \Delta\theta, n \frac{i_{\phi k}}{L} \right) - \Psi \left(\theta_k - \Delta\theta, n \frac{i_{\phi k}}{L} \right) \right) \frac{i_{\phi k}}{L} \\ d\omega_k = \frac{1}{J} (M(\theta_k, i_{\phi k}) + M_{\text{comp}}) dt \\ d\theta_k = \omega_k dt \\ dt = \frac{T}{N} \end{array} \right.$$

При наличии характеристик $i_{\phi}(\Psi_{\phi}, \theta)$, для рассматриваемой конфигурации ВИМ, математическая модель позволяет достаточно быстро моделировать требуемые процессы в ВИМ как в двигательном, так и в генераторном режимах.

Для решения данной системы был произведен расчет магнитных полей электрической машины. Для расчета использовался метод конечных элементов, автоматизация которых проводилась с применением программного пакет ANSYS Workbench. В результате получены картины распределение магнитного поля в электрической машине (рисунки 1 и 2).

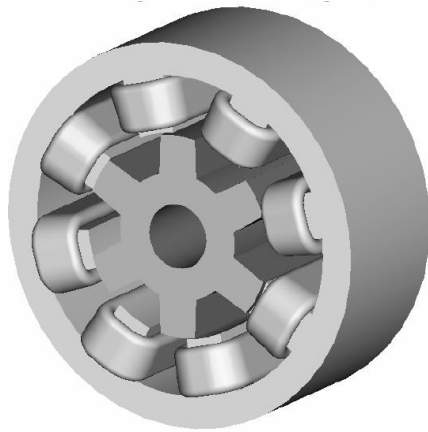


Рис. 1. Пространственная модель расчетной электрической машины

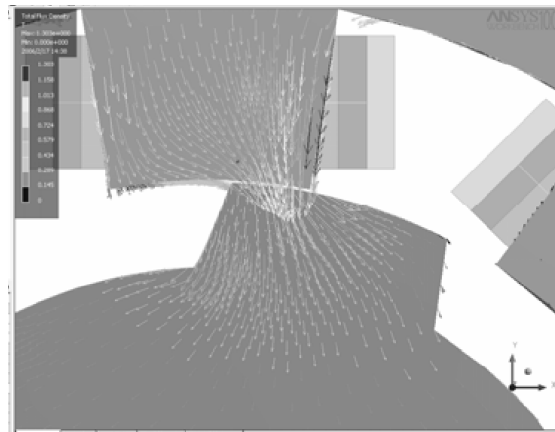


Рис. 2. Магнитные силовые линии в воздушном зазоре

Проведением серий расчетов при различных входных параметрах получаются искомые зависимости потокосцепления от тока фаз ВИМ для согласованного и рассогласованного положений зубцов статора и ротора, а также от угла относительного положения зубцов (рисунок 3). На основе полученных зависимостей для каждой фазы разработана модель ВИМ в системе MATLAB/Simulink.

Система управления ВИМ состоит из инвертора, блока управления коммутацией и датчика положения ротора. Алгоритм работы блока управления коммутацией определяется требуемым режимом работы машины.

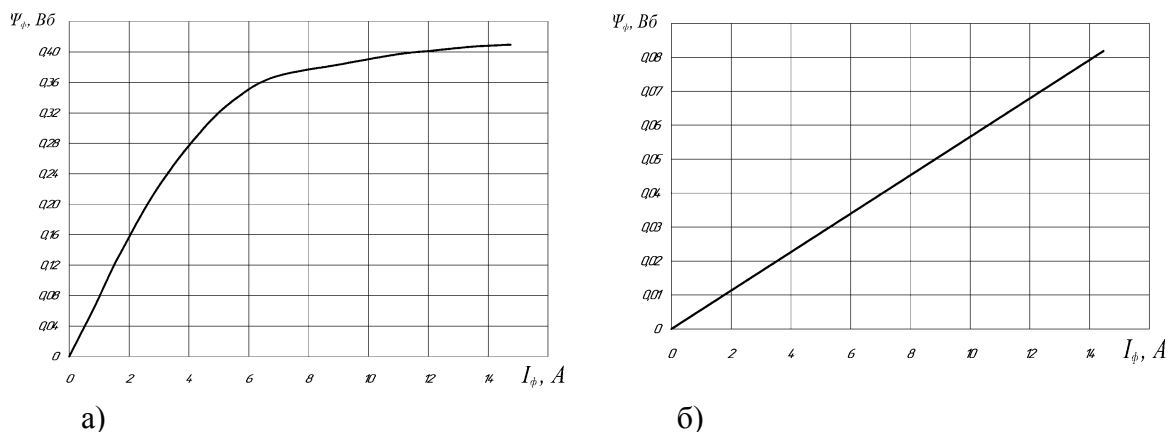


Рис. 3. Зависимость величины потокосцепления фазы ВИМ от тока фазы для согласованного (а) и рассогласованного (б) положения зубцов статора и ротора

Инвертор состоит из ячеек, количество которых равно количеству фаз ВИМ. Каждая ячейка инвертора выполнена по однотактной двухплечевой схеме. Такая схема позволяет реализовать работу ВИМ и в качестве стартера, и в качестве генератора. Режим работы определяется временем подачи управляющих сигналов на силовые транзисторы инвертора.

Работа блока управления коммутаций определяется величинами угла открытия и закрытия силовых транзисторов инвертора. Входными сигналами блок являются величины углов коммутации, определяемые режимом работы ВИМ; сигнал с датчика положения ротора и величина токоограничения ВИМ, а выходными – набор управляющих сигналов на силовые транзисторы и на фазы ВИМ.

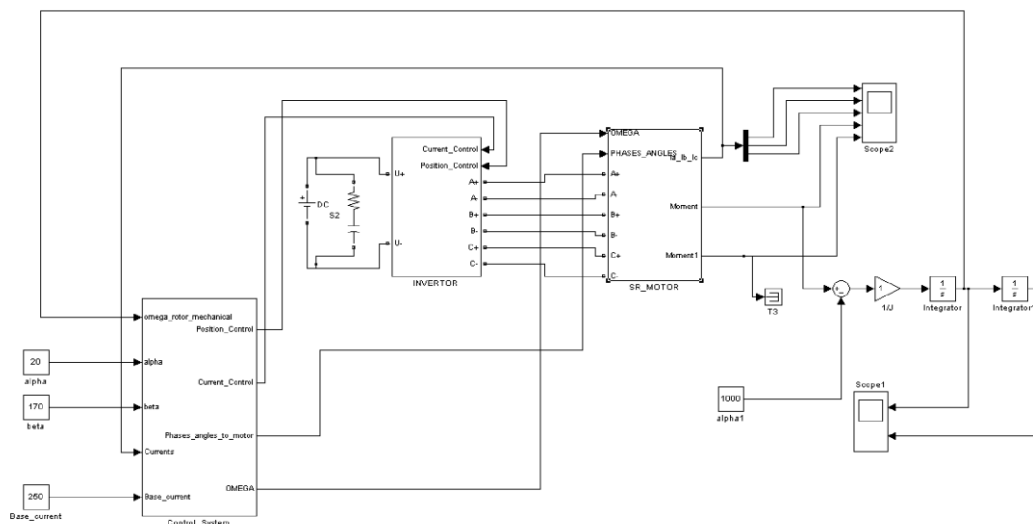


Рис. 4. Модель интегрированного СГУ в системе MATLAB/Simulink

Таким образом, получена модель интегрированного СГУ. Для практической проверки модели была выбрана разработка СГУ выполненная сотрудниками НТЦ КАМАЗа для автомобиля КАМАЗ-5308 [3]. В модель были внесены соответствующие коррективы: габаритные параметры машины, количество зубцов статора и ротора (24/16), материалы магнитопровода, предельные токи фаз и частота вращения машины. Моделирование проводилось для стартерного и генераторного режимов.

На рисунке 5 показаны осциллограммы основных величин ВИД при скорости вращения ротора 1400 об/мин. По осциллограммам можно увидеть, как изменяются ток и момент фазы ВИД в различные моменты времени: в области генерации поля возбуждения и в области гашения поля.

На рисунке 6 показаны механические характеристики различных вариантов исполнения СГУ. Изменяя конструктивные параметры СГУ можно изменять механические характеристики в достаточно широких пределах, добиваясь необходимого сочетания характеристик СГУ и ДВС.

На рисунке 7 представлены статические характеристики генератора в зависимости от скорости, и мощность возбуждения, необходимая для работы генератора. Как видно, на низких скоростях вращения генератор по-

требляет мощность возбуждения, превышающую полезную выходную мощность. Это связано с режимом поддержания тока фазы на определенном уровне. С ростом скорости вращения, ЭДС генератора, возрастает пропорционально скорости вращения. Требуемая мощность возбуждения при этом уменьшается.

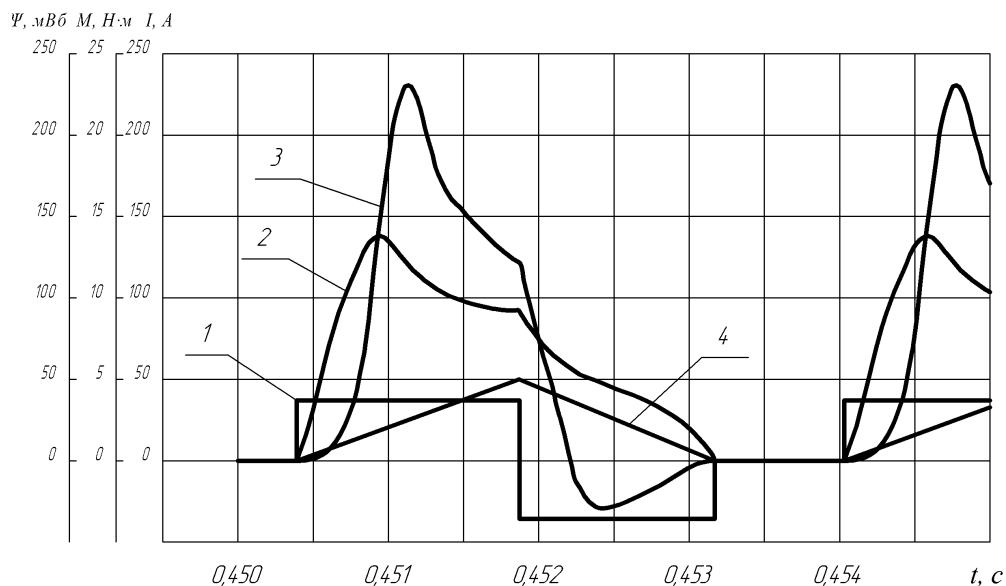


Рис. 5. Зависимость основных величин от времени при скорости вращения 1400 об/мин:

1 – напряжение, подаваемой на фазу; 2 – ток фазы; 3 – момент, развиваемый фазой; 4 – потокосцепление фазы

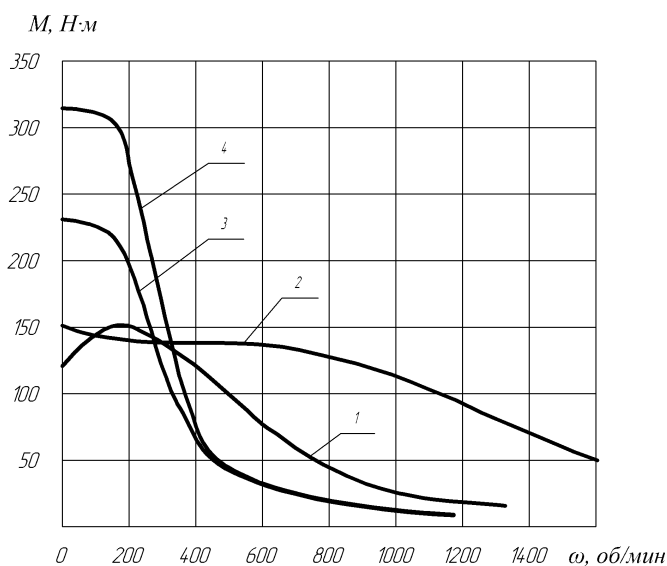


Рис. 6. Механические характеристики различных вариантов исполнения ВИСТ:

1 – основное исполнение ($U = 24$ В, $w = 55$, $l = 50$ мм); 2 – повышенное напряжение питания ($U = 48$ В); 3 – увеличенное число витков ($w = 77$); 4 – увеличенная активная длина пакета ($l = 100$ мм)

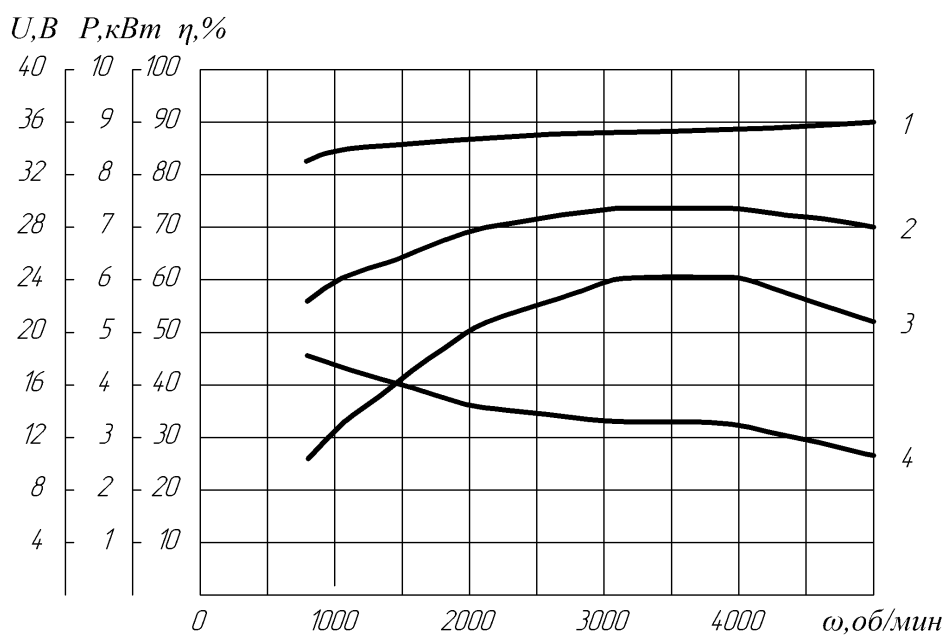


Рис. 7. Зависимость выходных характеристик ВИМ в генераторном режиме от скорости:

1 – КПД; 2 – выходное напряжение; 3 – выходная мощность; 4 – мощность возбуждения

Таким образом, разработана модель стартер-генераторного устройства, которая может использоваться при проектировании стартер-генераторных устройств для различных автомобилей в широком диапазоне входных параметров, а также использоваться в учебных целях.

Литература

1. Николаев В.В., Рыбников В.А. Разработка интегрированного стартер-генератора на основе вентильного-индукторной машины // Электричество. 2005. №5. - С. 32-38.
2. Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А. Вентильно-индукторные двигатели. Учебное издание. Издательство МЭИ, 2004г.
3. Валиев Р.И., Гумеров А.З., Муртазин А.Н., Насибуллин Р.Т., Садриев Р.Ш., Хафизов А.А. Интегрированное стартер-генераторное устройство для грузовых автомобилей КАМАЗ-5308 // Научно-технический вестник Поволжья №5 2013, Казань, с. 130-133.

Современные тенденции в моделировании бизнес-процессов

В настоящее время существует большое количество различных инструментов для моделирования бизнес-процессов (BPM). Каждое решение имеет свои особенности, существует множество аспектов, которые нужно изучить и взвесить. Ошибка, выявленная во время работы, в «середине пути», может стоить очень дорого. В данной статье описываются популярные и востребованные системы для моделирования бизнес-процессов: ELMA BPM Suite, Bizagi BPM Suite и Bonita Open Solution. Проведен анализ их основных функций:

- конструктор для моделирования бизнес-процессов;
- функция исполнения;
- функции контроля и мониторинга выполнения бизнес-процессов;
- возможности быстрого изменения бизнес-процессов.

Помимо функциональных критериев рассмотрены и нефункциональные:

- пользовательский интерфейс;
- стоимость систем;
- наличие мобильной версии;
- другие критерии.

ELMA BPM

ELMA BPM – разработка российской компании ELMA, предназначенная для управления бизнес-процессами. Моделирование бизнес-процессов в системе ELMA осуществляется в специальном графическом редакторе «Дизайнер ELMA» в нотации BPMN 2.0. [1]

В системе ELMA есть средства интеграции с основными корпоративными приложениями (SOA, CRM, почтовые сервисы, оповещения на почту и по sms). Для российских пользователей плюс системы состоит в тесной интеграции с «1С: Предприятие». У системы богатая поддержка работы с веб-сервисами, что полностью задокументировано разработчиком. Поэтому интегрировать ELMA с любой внешней системой не составляет труда. Кроме того, есть поддержка работы с сервисной шиной (ESB) и интеграция с шинами передачи данных на уровне моделирования бизнес-процессов (JMS, MSMQ). Портлеты ELMA встраиваются в корпоративные Порталы: SharePoint, Bitrix.

Интерфейс системы в целом удобный, простой и понятный. Это касается всех ее компонентов. К ней легко адаптироваться, потому что интерфейс Внутреннего Портала одинаковый для работы со всеми приложениями системы. Его можно легко сделать очень простым и удобным для конечных пользователей. Любая информация может отображаться в красивом и понятном формате.

Настраиваются и формы задач, и документов, и карточек произвольных объектов. Для разных групп пользователей система может выглядеть по-разному. Есть конструктор форм, который работает без дополнительной верстки html-страниц.

В интерфейсе портала можно работать с мобильных устройств (смартфонов и планшетов). Кроме того, в интерфейсе возможно настроить аналитику и другие функции портала.

Нотация BPMN 2.0 русифицирована, и русские названия элементов модели процесса значительно облегчают общение с бизнес-пользователями, но соответствие нотации у ELMA BPM менее полное, чем у Bizagi. Разработчики ELMA сконцентрировались только на тех элементах, которые реально можно автоматизировать, а поддержка неисполнимых элементов довольно слабая.

При этом всё актуальнее для компаний становится вопрос реализации нотации BPMN, поскольку неполная ее поддержка может затруднять пользователю разработку модели процесса. Графический редактор системы довольно тяжелый. Если нужно просто сделать что-то неисполнимое, приходится ставить большую тяжелую систему, ждать пока запустится сервер, все это требует времени.

Есть бесплатная версия на пять рабочих мест. Также вендор предлагает коммерческие версии: легковесную Экспресс-версию на бесплатном СУБД Firebird. В качестве базовой предлагается «Стандарт» версия на MS SQL. Версия Стандарт стоит примерно в полтора раза дороже «Экспресса».

Стоимость лицензии – менее 10 тысяч за 1 рабочее место. А в случае с версией «Экспресс» — значительно ниже.

Также ELMA предлагает корпоративную версию, которая поддерживает кластерную архитектуру для обеспечения высокой производительности в больших организациях. Данная версия работает как на корпоративной версии MS SQL, так и на Oracle. Цены на корпоративную версию на сайте разработчика найти не удалось [4].

Bizagi BPM Suite

Весьма известная и популярная система Bizagi BPM Suite состоит из

компонентов, выполняющих отдельные функции:

- Bizagi Process Modeler – дизайнер процессов;
- Bizagi Studio — автоматизация процесса;
- Bizagi BPM Server — исполнение процесса [2].

Моделирование бизнес-процессов осуществляется в нотации BPMN. Поддерживается наиболее полный уровень соответствия спецификации BPMN. Но самая сильная сторона продукта – красочный графический редактор.

Стоит отметить гибкие возможности BizAgi BPM Suite по интеграции с внешними системами и приложениями. Эти возможности позволяют связать процессы с любой другой системой. Такие возможности конфигурации включают в себя различные механизмы на уровне интеграции данных и на уровне процессов. Поддерживаются следующие виды интеграций:

- с внешними источниками данных;
- с сервером электронной почты (оповещения);
- с ЕСМ (и системами электронного документооборота);
- с иными IT-системами;
- возможность ссылаться на внешние сети.

Пользовательский интерфейс Bizagi BPM Suite представляет собой набор настраиваемых форм, которые привязываются к операциям бизнес-процесса и отображаются для получения и ввода данных при выполнении соответствующей операции.

У Bizagi тяжелый интерфейс. Конечно, удобно рисовать процессы, но со всем остальным дела обстоят хуже. Тяжело адаптироваться к системе. Нет средств верификации процессов, это при том, что система позволяет моделировать весьма сложные процессы, которые требуют проверки. Нет и возможности симуляции бизнес-процессов, поэтому увидеть, как процесс выполняется, можно лишь исполнив его.

Процедура запуска процессов в работу в целом более сложная. Для этого требуются квалифицированные специалисты. В лучшем случае этим занимаются специалисты вендора, который находится как правило в существенном удалении. Партнеров, которые находятся в России и смогут помочь, крайне мало, и их квалификация зачастую вызывает сомнения [4].

Система доступна в двух вариантах:

Enterprise Edition - корпоративные решения BizAgi BPMS разработаны для крупных предприятий. Они обеспечивают все функции, необходимые в большом количестве BPM проектов. В системе могут работать от сотен до тысяч пользователей.

Xpress-издание – BizAgi BPMS Xpress – сравнительно недорогое решение для малых и средних предприятий. Позволит оценить преимущества BPM небольших (пробных) проектах, прежде чем начать работу со всеми функциями BPM. BizAgi BPMS Xpress может одновременно использовать максимум только 50 пользователей.

Стоимость лицензий – около 100\$ за одного пользователя.

Bizagi Process Modeler – дизайнер бизнес-процессов распространяется бесплатно.

Bonita Open Solution

Bonita Open Solution - французский вендор. Представительства в РФ, как и у предыдущего решения, нет. Не так давно, по некоторым данным, была переведена только пользовательская часть системы, в целом, российской локализации нет [ссылка на бониту].

В opensource-версии системы отсутствуют средства мониторинга процессов. В свою очередь, в коммерческом варианте системы они есть. Решение состоит из трёх основных компонентов, разделённых по назначению:

- Studio — моделирование и автоматизация бизнес-процессов;
- Execution Engine — исполнение бизнес-процессов;
- User Experience — интерфейс для работы пользователя с его процессами.

Моделирование процессов Bonita Open Solution происходит в нотации BPMN. Поддержка нотации довольно полная. Решение поддерживает импорт диаграмм из формата XPD, но без возможности экспорта в него. Также нет и поддержки BPEL.

Моделирование и автоматизация процесса в Bonita Studio производится в одном окне, что очень удобно. Выбор данных и участников, генерация интерфейсов к этапам процесса производится в том же окне, что и создание графической модели. Нет необходимости постоянно переключаться между окнами редакторов, это ускоряет разработку процесса.

BOS может взаимодействовать с большим количеством приложений и сервисов с помощью программных соединителей – коннекторов. Поддерживаются базы данных, почтовая служба, веб-сервисы и др. Коннекторы позволяют системе подключаться к внешним базам данных (к примеру, данные справочников, информация о заказах или клиентах), а также получать информацию из внешних систем в интерфейс процесса и записывать данные во внешние системы по результатам исполненного процесса.

Продукт имеет удобный графический интерфейс для моделирования

бизнес-процессов. Можно моделировать бизнес-процессы и создавать собственный интерфейс. В Bonita Studio встроен графический конструктор экранных форм Bonita Form Builder, он позволяет создавать веб-интерфейсы для работы с бизнес-процессами.

Нет средств статической верификации процессов (доступна их симуляция с различными параметрами и формированием отчётов по результатам).

Недостатком BOS также является отсутствие поддержки динамического изменения бизнес-процесса, затрудняющее оптимизацию процессов. Данное упущение является существенным для BPM-системы, поскольку после запуска системы в работу любое изменение намного сложнее реализовать. Возможность изменения процесса во время его исполнения входит в число ключевых концепций BPM.

Пользователи отмечают сложности с использованием русского языка в системе. Если название процесса написать русскими символами, он не находится при запуске в отдельном окне. Нельзя прописать по-русски и элементы процесса, поскольку может возникнуть конфликт имен при совпадении количества символов в пределах процесса. Все имена в таком случае переводятся на английский язык и символы заменяются на «нижнее подчеркивание».

Решения системы – Bonita Portal, Bonita Studio и Bonita Engine платные, на официальном сайте есть подробное описание всех модулей, но нет информации по их стоимости. Есть бесплатная Opensource-версия.

Выводы

Все три рассмотренные системы достаточно близки функционально и тяжело выделить однозначно лучшую систему. Каждой из них обладает собственными плюсами и минусами. Например, отладка бизнес-процессов есть только у ELMA, а в остальных системах данный механизм не реализуется.

За красотой интерфейса в ряде систем скрывается неудобная настройка. Усложняет внедрение BPM-решений и территориальная удаленность вендоров. Что же касается функциональных возможностей, здесь во многих вопросах, конечно, Vizagi держит уверенное первенство. Но, что особенно приятно, отечественная разработка – ELMA BPM уже не только может поравняться силами со своими западными коллегами, но и в чем-то их превзойти.

Литература

1. Официальный сайт ELMA BPM. [Электронный ресурс] URL: <http://www.elma-bpm.ru/product/bpm/> (дата обращения: 9.02.2016).
2. Официальный сайт Bizagi. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bizagi.com> (дата обращения: 10.02.2016).
3. Официальный сайт Bonita Open Solution. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bonitasoft.com> (дата обращения: 10.02.2016).
4. Пантюхин С. Сравнительный обзор BPM-систем [Электронный ресурс] // Habrhabr – коллективный блог [сайт] URL: <https://habrhabr.ru/post/221495/> (дата обращения: 10.02.2016).

СЕКЦИЯ «ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ»

Баишмаков Д.А.,
канд. техн. наук, доцент

Энергосбережение в процессе водоподготовки котельных

Большинство муниципальных котельных [1] используют для питания котлов «сырую» воду без какой-либо предварительной водоподготовки. По этой причине на внутренних стенках труб котлов с течением времени образуется отложение солей, что приводит к снижению технико-экономических показателей работы котлов и их выходу из строя. При толщине слоя накипи в 1 мм потери тепловой энергии составляют 10–12 %, при слое в 10 мм — до 50%. Достаточно высокий уровень отложения солей возникает и на внутренних поверхностях теплообменников горячего водоснабжения (ГВС) центральных и крупных индивидуальных тепловых пунктов (ЦТП и ИТП) при их многолетней работе на подготовленной водопроводной воде без периодических промывок.

Вода, применяемая в котельных и на теплоснабжающих предприятиях, подвергается предварительной обработке, так как она должна соответствовать показателям, которые установлены «Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ», «Правилами устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов», СанПиН 2.1.4.1074-1 [5] и другими нормативными документами. Процессы обработки воды существенно влияют на надежность и экономичность эксплуатации теплоэнергетических установок.

В последние годы достаточно широкое применение в котельных и системах теплоснабжения и горячего водоснабжения получили системы дозирования реагентов (комплексонов), позволяющие резко снизить затраты на водоподготовку, уменьшить скорость коррозии трубопроводов, удалить существующие солевые отложения с внутренних поверхностей трубопроводов и теплообменных аппаратов. Первоначально областью применения таких систем дозирования были котельные, затем сфера их применения расширилась до систем тепло- и водоснабжения предприятий, ЦТП и ИТП. Большое распространение в теплоэнергетике получили антинакипины и ингибиторы коррозии, и другие реагенты отечественного и зарубежного

производства. Ориентировочные расчеты показывают [2], что использование антинакипинов в водоподготовке позволяет снизить затраты на водоподготовку по сравнению с Na-катионированием до 10 раз. Недостатком такого способа подготовки является невозможность использовать её для подачи в водопровод горячего водоснабжения потребителей при использовании открытой системы водоснабжения из-за превышения норматива по количеству добавок [3].

Используемые в РФ и за рубежом технологии водоподготовки, применяемые в теплоэнергетике, обеспечивают в большинстве случаев необходимый уровень очистки природных вод и доведение их качества до требований ПТЭ. Однако эти процессы требуют существенных затрат тепловой и электрической энергии. Разработка и активное использование в современных системах водоподготовки усовершенствованных методов ионного обмена, мембранных методов обработки и очистки воды, эффективных технологий термической дистилляции, новых типов аппаратов для дегазации воды, позволяет изменить подход к вопросам снижения расхода потребляемой аппаратами водоподготовки электрической и тепловой энергии.

Анализ современных решений по проблеме снижения энергетических затрат в процессах водоподготовки показывает, что оптимизация энергопотребления связана не только с применением на водоподготовительных установках (ВПУ) новых технологий водоподготовки на базе обратноосмотических, электродиализных, термических, гидромагнитных и других аппаратов, но и возможностью внедрения энергосберегающих технологий при совершенствовании систем водоподготовки котельных.

При этом основные задачи исследований в рассматриваемой области знаний чаще всего посвящены развитию базовых технологий водоподготовки, созданию новых агрегатов и их эффективному использованию при разработке перспективных схем ВПУ на электростанциях и котельных.

Актуальным остается вопрос разработки энергоэффективных схем применения на ВПУ котельных термических аппаратов для подготовки воды, работу которых целесообразно рассматривать с учетом возможности утилизации тепловой энергии, теряемой в окружающую среду. В этих условиях одним из перспективных путей повышения технико-экономических показателей ТЭУ является применение регенерационных методов энергосбережения в сочетании с эффективными термическими аппаратами, в частности, вакуумных деаэраторов, для обработки воды.

Дополнительное количество тепловой энергии, необходимое для работы деаэраторов, может быть получено также за счет использования достаточно простых энергосберегающих мероприятий, в частности, обеспе-

чения прохождения подготовленной воды, через дополнительный теплообменник, обеспечивающий предварительный подогрев сырой воды (рис. 1).

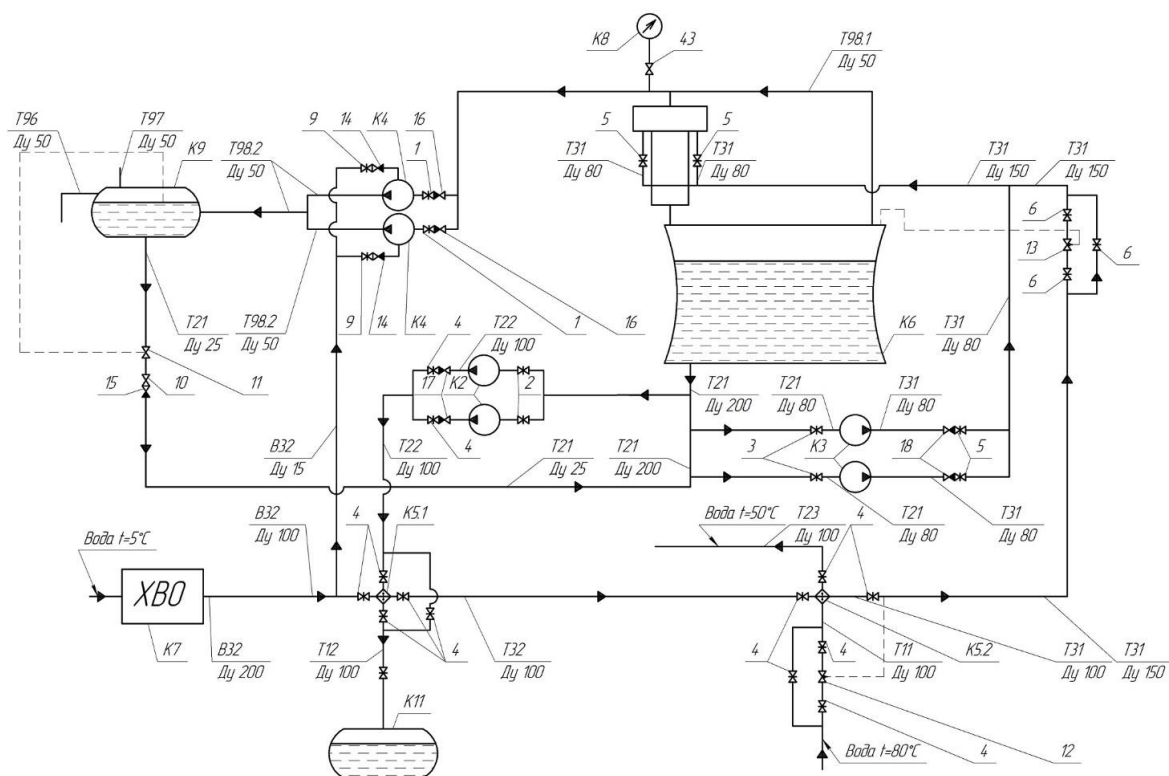


Рис. 1. Схема деаэрации

Стоит отметить особенность данной схемы вакуумной деаэрации: возможность варьирования производительностью в широких пределах, благодаря циркуляционному контуру с насосами Whilo (K3).

Исходная сырая вода из водопроводной сети проходит через химводоочистку. Химочищенная вода поступает через водо-водяной теплообменник (K5.1) где нагревается до температуры 49 °С, за счёт рециркуляции теплоты от деаэрированной воды ($t=65\text{ °C}$, $P=8\text{ атм.}$), далее на втором водо-водяном теплообменнике (K5.2) происходит окончательный подогрев воды до температуры 65 °С, за счёт горячей воды ($t=80\text{ °C}$, $P=8\text{ атм.}$) и подаётся на вакуумный деаэратор СДВ(В)-25. В вакуумном деаэраторе нагретая химочищенная вода ($t=65\text{ °C}$, $P=3,5\text{ атм.}$) вскипает при вакууме ($-0,06\text{ Мпа}$) и деаэрируется. Деаэрированная вода ($t=65\text{ °C}$, $P=1\text{ атм.}$) стекает в деаэраторный бак, откуда насосами (K2) подается в теплообменник (K5.1) и охлаждаясь до 10 °С, поступает в ёмкость хранения (K11) для последующего использования.

Выделившаяся в деаэраторе парогазовая смесь ($t=65\text{ °C}$, $P=0,4\text{ атм.}$) удаляется из деаэратора при помощи вакуумного водокольцевого насоса

(К4). В вакуумном водокольцевом насосе парогазовая смесь смешивается с холодной водой, поступающей в насос для охлаждения, и сливается в бак газоотделитель К3. По мере накопления отработанной воды в баке газоотделителе открывается соленодный клапан 11, и отработанная вода поступает на всасывание оборотного насоса. Обратный насос возвращает часть деаэрированной воды обратно в деаэратор, происходит постоянная рециркуляция.

Нагрев химочищенной воды во втором водо-водяном теплообменнике К5.2 выполняется прямой сетевой водой. Регулирование уровня в деаэраторном баке выполняется при помощи регулирующего клапана 13 с эл. Приводом, установленного на линии подачи, нагретой химочищенной воды на деаэратор.

Настоящее исследование направлено на решение важной народнохозяйственной проблемы применения энергосберегающих технологий для утилизации теплоты с целью совершенствования систем водоподготовки котельных.

Литература

1. Герцев Р., Дербышев А. «Как победить коррозию...». // «Жилищно-коммунальный комплекс Урала». №4, 2006 г.

2. Балабан-Ирменин Ю. В., Рубашов А. М., Тарасов С. Г. «Некоторые проблемы внедрения фосфонатов-антинакипинов». // «Водоочистка». № 12, 2008 г.

3. Хайхян Р. А. «Использование антинакипинов для обработки воды в котельных МУП «Мостеплоэнерго»». // «Новости теплоснабжения». № 11, 2001 г.

4. СанПиН 2.1.4.1074-1 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества воды».

Галиакбаров А.Т.

канд. техн. наук, доцент

Исследование электродугового плазматрона для нанесения покрытий на строительные материалы

На данном этапе развития строительной отрасли основными материалами являются кирпич (силикатный, красный и т.д.), газобетон, пенобетон,

бетонные плиты, древесина, металлоконструкции. В статье рассматривается инструмент (плазматрон) для обработки этих материалов. Такие инструменты в последнее время все активнее применяются в этой отрасли [1], [2]. Исследования проводились на древесине с целью улучшить ее характеристики. Древесина по сравнению с металлами и другими материалами имеет относительно малый срок эксплуатации. Решающим фактором в пригодности изделий из древесины является влияние грибковой инфекции вследствие естественного содержания в ней влаги. Использование химической защиты в некоторых случаях может сопровождаться вымыванием защитных веществ, понижает эффективность защиты в целом и оказывает негативное влияние на окружающую среду. В связи с этим необходимо является поиск нетрадиционных способов обработки древесины для улучшения эксплуатационных свойств ее поверхности [3]. Решением вышеназванных проблем является использование в качестве источника термической обработки поверхности древесины энергии низкотемпературной плазмы. Применение среды низкотемпературной плазмы позволяет модифицировать поверхность древесины и получить тончайшую функциональную (гидрофобную) пленку, которая улучшает физические свойства материала и не пропускает жидкость [4].

Конструкция плазматрона с изменяемым межэлектродным зазором (МЭЗ) и возможностью регулировки температуры обработки, представлена на рисунке 1. Исследовательская установка состоит из плазменного генератора, источника питания постоянного тока, измерительной аппаратуры.

С целью получения заданных показателей качества технологического процесса проведены экспериментальные исследования параметров кольцевого плазматрона [5].

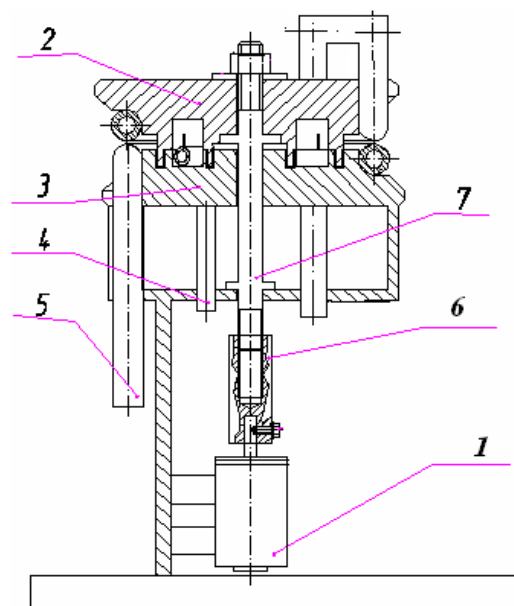


Рис. 1. Конструкция кольцевого плазмотрона:

1-шаговый двигатель; 2-верхний корпус; 3-нижний корпус; 4-подвод плазмообразующего газа; 5-электроды; 6-муфта; 7-вал.

Изменение параметров производилось в следующих диапазонах: суммарный расход плазмообразующего газа $G = 1 \dots 2$ г/с, ток дуги – от 80 до 200 А, расстояние от среза плазмотрона до места взаимодействия с материалом – от 5 до 15 мм. Изменения внутренних характеристик разряда определяли при варьировании следующих внешних параметров: диаметр электродов, ток дуги, расход газа, межэлектродный зазор. Важными параметрами, характеризующие качество ТП, являются их зависимости от энергетических и тепловых показателей ПТ. На основе теоретических и экспериментальных данных, проведенных в лаборатории, разработана экспериментальная установка ПТК на базе кольцевого плазмотрона.

Между электродами возникает плазма, движущаяся по контуру электродов под действием электромагнитных сил, воздействует на обрабатываемую поверхность деталей. Регулируя электрические параметры разряда и расход плазмообразующего газа, устанавливаем необходимую температуру плазмы для обработки поверхностей деталей с требуемыми показателями качества ТП.

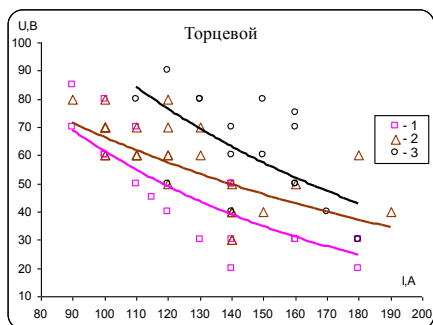


Рис. 2. ВАХ кольцевого плазмотрона

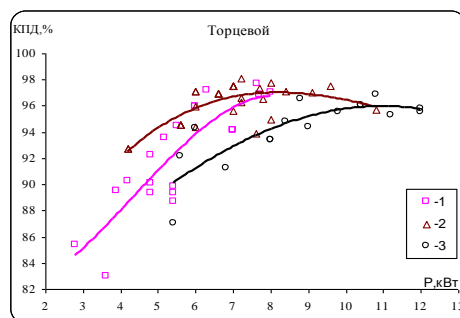


Рис. 3. Зависимость КПД от мощности

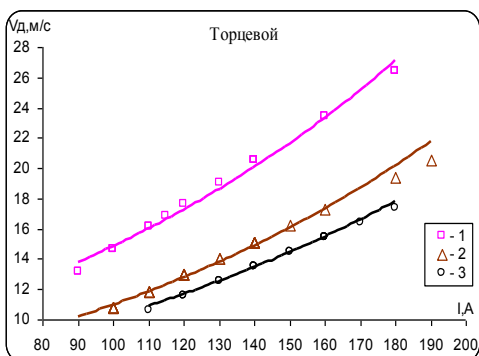


Рис. 4. Зависимость скорости движения дуги от силы тока

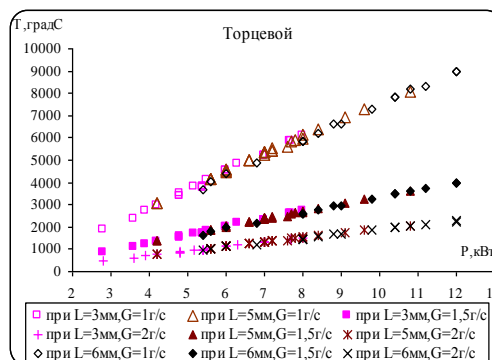


Рис. 5. Зависимость среднемассовой температуры струи от мощности

(1—межэлектродный зазор 3 мм; 2—межэлектродный зазор 5 мм; 3—межэлектродный зазор 6 мм)

Важными параметрами, характеризующие качество ТП, являются их зависимости от энергетических и тепловых показателей ПТК.

Результаты экспериментальных исследований показывают стабильность характеристик ПТК, что позволяет получить устойчивый поток плазмы и осуществлять обработку материалов.

В результате исследований определен оптимальный диапазон суммарного расхода плазмообразующего газа $G = 1 \dots 1,5$ г/с и мощности разряда $8 \dots 12$ кВт, при которых степень ионизации максимальна.

Полученные данные о характеристиках ПТК позволили установить, что основными параметрами, ответственными за модификацию поверхности древесины является энергия ионов, бомбардирующих их поверхности и плотность ионного тока на его поверхности.

Разработанный кольцевой плазмотрон обладает высокими энергетическими характеристиками при КПД превышающим 90 %.

Литература

1. Плазменные технологии в строительстве / Г.Г. Волокитин, Н.К. Скрипникова, А.М. Шилиев [и др.]. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2005. – 290 с.
2. Плазменная обработка материалов / Г.Г. Волокитин, И.А. Лысак, А.С. Аньшаков. – Томск : Изд-во Том. гос. архит. строит. ун-та, 2009. – 200 с.
3. Соколов, О.М. Исследование изменения состава древесины при обработке низкоэнтальпийной электронно-пучковой плазмой / О.М. Соколов, М.Н. Васильев, Д.Г. Чухчин // Лесн. журн. – 1999. – № 2–3. – С. 167–175.
4. Перспективы технологии создания защитно-декоративных покрытий на поверхности древесины с использованием плазменной технологии / О.Г. Волокитин, Г.Г. Волокитин, Н.А. Цветков, Вестник ТГАСУ № 1, 2012 с.112-116.
5. Пат. RU59931 , H05H1/26. Плазмотрон / Исрафилов И.Х., Исрафилов З.Х., Галиакбаров А.Т, Исрафилов Д.И // - 2006123860/06, заявл. 03.07.2006, опубл. 27.12.2006.

Галимов Н.С.,

канд. техн. наук, доцент,

Саримов Л.Р.,

канд. техн. наук, доцент,

Анализ эффективности работы энергонезависимого рекламного щита или роторного ветродвигателя с концентратором

В настоящее время практически никто не может представить современный городской пейзаж без обильно и сочно украшенными, со статически фиксированной информацией, с динамическим экраном, со светодиодными панелями и т.д., рекламными щитами. В дневное время вся информация рекламных щитов доступна людям, однако с наступлением темноты эта информация теряет свою доступность. Конечно, очень многие рекламные щиты освещаются и в темное время суток, если эти щиты находятся недалеко от источника электрической энергии. Случаются ситуации, когда рекламный щит находится на очень удачном месте для передачи информации, например привокзальная территория, многолюдные крупные остановки общественного транспорта, большие проспекты, междугородние и международные трассы и т.д. Многие из этих щитов, если не обеспечены электропитанием, с наступлением темноты практически исчезают.

В настоящее время нами ведется работа по созданию энергонезависимых рекламных щитов [1], которые могут рекламировать заданную информацию почти круглосуточно. Понятно, что в ночное время необходимо обеспечить рекламные щиты искусственным освещением. Для освещения в темное время суток подходят накаливающие лампы освещения, энергосберегающие лампы и наконец, светодиодные источники света. Источниками электроэнергии могут быть обычная электросеть с напряжением 220 вольт переменного тока, аккумуляторная батарея напряжением 12 вольт или 24 вольт, электрогенератор с двигателем внутреннего сгорания, пневмодвигатель-генератор и т.д. По нашему мнению во многих случаях достаточно укомплектовать эти рекламные щиты возобновляемыми источниками электроэнергии. Для этой цели наиболее подходят роторные ветроэнергопреобразователи.

Наибольшая компактность по габаритным соображениям энергонезависимого щита, наверное, будет тогда, когда роторы будут расположены по периметру рекламного щита, где оси роторов занимают положение параллельное сторонам прямоугольного щита. На рис.1 предложен такой вариант компоновки рекламного щита и роторов электроветро двигателей.

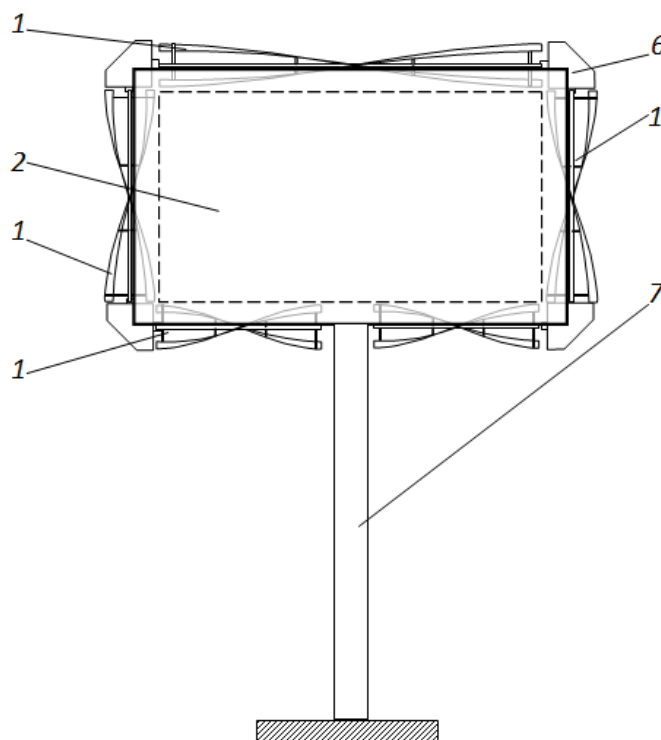


Рис.1. Компоновка энергонезависимого рекламного щита

Установка состоит из роторов 1, расположенных вокруг прямоугольного планшета 2. Вокруг прямоугольного планшета имеются углубления 3,

глубина которых равна радиусу роторов 1. Толщина планшета чуть больше диаметра ротора. Прямоугольный планшет 2 спереди и сзади закрыт плоскими листами 4 и 5, которые являются одновременно информаторами и концентраторами воздушного потока. Для синхронизации вращений роторов и соблюдения сонаправленности роторы установлены на угловые согласующие элементы 6.

Установка работает следующим образом (рис.2). При набегании воздушного потока на щит 5 (концентратор), центральные слои воздушного потока затормаживаются, статическое давление по мере приближения к планшету начинает возрастать. Эти слои образуют как уплотненный перед планшетом обтекатель. Вокруг этой зоны из-за удлинения пути движения воздушные слои начинают ускоряться. Максимального значения скорости воздушного потока достигают при переходе вокруг переднего щита планшета, т.е. перед зоной ротора 1. Повышенной кинетической энергией этот поток вращает роторы 1 отдавая мощность пропорционально кубу скорости воздушного потока. Вторая половина роторов находится в углублении 3 вокруг планшета. Это защищает лопасти ветрового колеса от импульса усиленного набегающего потока. Разность давлений на лопасти роторов создает крутящий момент вокруг оси ротора. Планшеты 2 должны устанавливаться на опорах 7 так, чтобы максимальный луч розы ветров на данной местности был параллелен к нормали щита планшета.

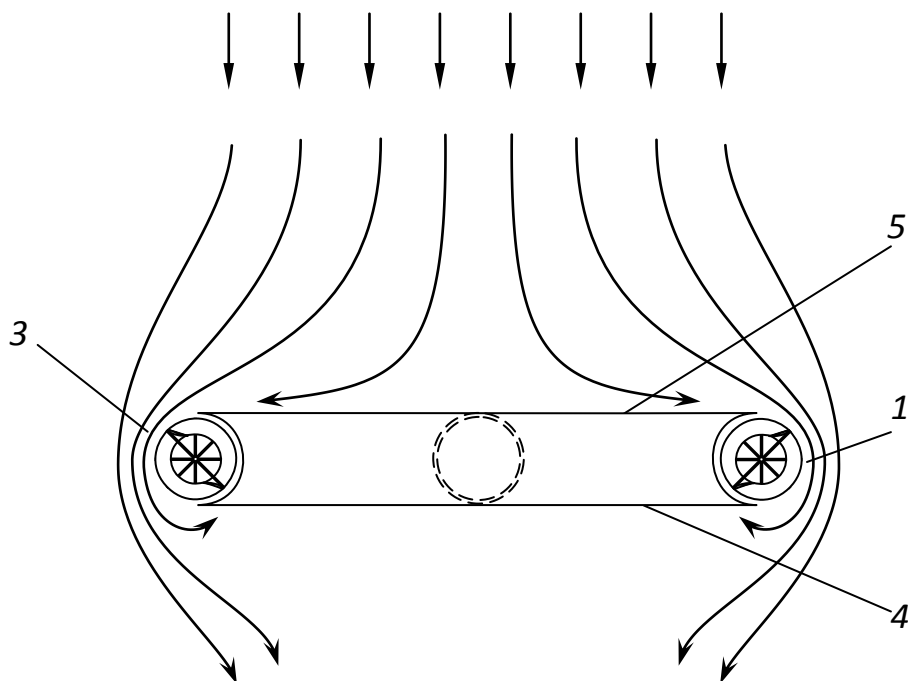


Рис. 2. Принцип работы энергонезависимого рекламного щита

При изменении направления ветра на 180^0 задний щит становится концентратором воздушного потока, роторы начинают вращаться в противоположную сторону.

Мощность привода питания плоского рекламного щита ориентировочно можно определить по формуле:

$$N=0.5\rho\xi SV^3 \quad (1)$$

Или с учетом, что площадь обтекания роторов $S=abr$:

$$N=0.5\rho\xi abrV^3 \quad (2)$$

Представим, $a=3\text{м}$, $b=6\text{м}$, $r=0,2\text{м}$.

$$N=3*6*0,2*0,5*1,25*0,3*V^3=0.675V^3 \quad (3)$$

Подставляя среднегодовую скорость ветра региона $V=5\text{м/с}$,

$$N=3*6*0,2*0,5*1,25*0,3*V^3=0.675V^3=0,675*125=84.375 \text{ Вт}.$$

Работа совершаемая при такой мощности за сутки может составлять:

$$A=Nt [\text{Дж}] \quad (4)$$

Подставляя полученную мощность и суточное время, в случае когда средняя скорость ветра сохраняется в течение 24 часов, получим:

$$A=84,375 \cdot 24=2025 \text{ Вт} \cdot \text{час}=2,0 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

Эта энергия хватит на питание источника накального освещения мощностью 160 Вт в ночное время в течение 12 часов. Для светодиодного варианта освещения время непрерывного освещения может достигать до 120 часов, т.е. в течение 5 суток.

Литература

1. Патент РФ № 149659, МПК51 G09F19/22. Приоритет от 18.07.2014. Опубликовано 10.01.2015. Описание патента.

Применение в системе энергоснабжения института когенерационных установок

Введение: На сегодняшний день существует множество аргументов в защиту выбора когенерационных установок.

Мини-ТЭЦ обладают замечательными особенностями: дешевизной электро- и теплоэнергии, близостью к потребителю, отсутствием необходимости в дорогостоящих ЛЭП и подстанциях, экологической безопасностью, мобильностью, легкостью монтажа и многими другими факторами.

Проведем сравнительный анализ затрат при централизованном тепло-электроснабжении жилого комплекса и в случае работы собственной мини-ТЭЦ.

Центральное энергоснабжение: Для расчета годовых затрат при централизованном энергоснабжении количества электроэнергии и тепловой энергии за год выбираем производимое количество электроэнергии и тепловой энергии в год когенерационной установкой.

Годовое потребление тепловой энергии + горячее водоснабжение за год составит:

$$Q_{от} = 52520 \text{ Гкал}$$

Годовое потребление электроэнергии будет равно:

$$Q_{э.э} = 61632 \text{ МВт*ч}$$

На рисунке 1. представлена диаграмма долевого составления затрат на электрическую энергию и тепловую энергию при централизованном энергоснабжении.

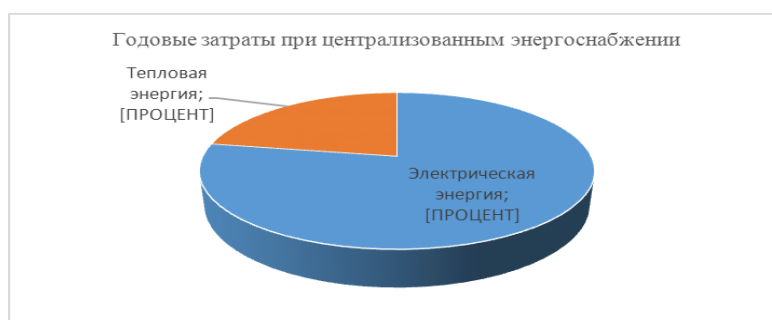


Рис. 1. Годовые затраты при централизованном энергоснабжении

Энергоснабжение от мини-ТЭЦ: Затраты при энергоснабжении от мини –ТЭЦ включает закупку когенерационных установок и газораспределительного пункта, поставку природного газа, масло для двигателя когенерационной установки и эксплуатационные затраты.

Годовое потребление природного газа:

$$Q_{\text{газ}} = 1746 * 8560 / 1000 = 14\,946\,000 \text{ нм}^3/\text{год}$$

Годовой расход масла двигателем:

$$C_{\text{масло}} = 8560 * 1,2 * 7200 = 73958 \text{ кг/год}$$

Стоимость когенерационных установок в количестве 6 штук составляет 3 726 000 евро (204 930 000 руб.)

ГРП и трубопроводы 1 200 000 руб.

Трубопроводы для тепловых сетей 8 998 400 руб.

Из рисунка 2 видно, что большую часть (63%) годовых затрат приходится на покупку природного газа.

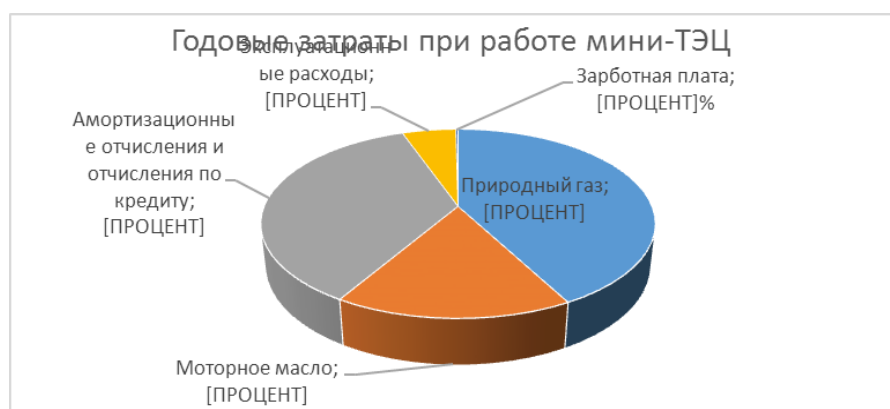


Рис. 2. Годовые затраты при работе мини-ТЭЦ

Сравнительный анализ двух вариантов энергоснабжения

Для сравнения вариантов энергоснабжения проанализируем проведенные расчеты. Для удобства сравнения расчеты представим в виде таблицы 1. Годовые затраты на централизованное теплоэлектроснабжение выше, чем производственные затраты, связанные с работой мини-ТЭЦ.

Суммарные годовые затраты в первом варианте составляют 333 170 337 руб., во втором 137 645 505,4 руб. Такая разница в годовых затратах

дает возможность не только окупить затраты, связанные с приобретением и монтажом оборудования для мини-ТЭЦ, но и принести прибыль впоследствии.

Таблица 1

Технико-экономическое сравнение вариантов

Наименование показателя	Вариант 1 (централизованное энергоснабжение)	Вариант 2 (мини-ТЭЦ)
Расчетный период	7 лет	
Норма приведения	10%	
Среднегодовое потребление тепла	21976 Гкал	
Среднегодовое потребление электроэнергии	12200000 кВт*ч	
Приведенный расчетный период	4,868 года	
Затраты на приобретение оборудования	-	240 943 808 руб.
Годовые затраты на энергоснабжение	333170 337 руб./год	137 645 505,4 руб./год
Годовая чистая прибыль	-	195 524 831,6 руб./год

Окупаемость

Расчетный срок окупаемости использования когенерационных установок при 100% нагрузке составил 26 месяцев или 2,15 года.

Себестоимость энергии, произведенной когенерационной установкой

Расчётная себестоимость электрической энергии при выработке когенерационной установкой составляет 0,512 руб./кВт*ч.

Расчётная себестоимость тепловой энергии при выработке когенерационной установкой составляет 1081 руб./Гкал.

Сравнительные графики тарифов электрической энергии и тепловой энергии представлены на рис. 3.

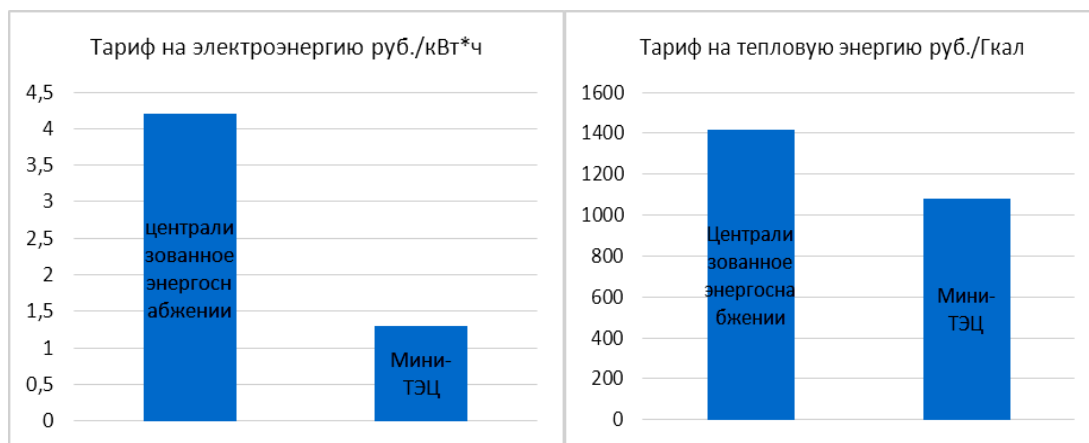


Рис. 3. Сравнение тарифов электрической и тепловой энергии

Вывод. Как видно из результатов расчета, развитие «малой» когенерации в Республике Татарстан, предусматривающее строительство мини-ТЭЦ на базе газопоршневых энергоблоков, является экономически выгодным. Помимо низкого тарифа на тепловую энергию это обеспечивает повышение надежности тепло- и электроснабжения городов, обеспечивает высокую эффективность использования топлива, снижение потерь электрической энергии на транспортировку и трансформацию.

Литература

1. Вагин Г.Я. Петрицкий С.А. Энергоснабжение. Издательство Нижегородской государственной технической университет им. Р.Е. Алексеева. 2007.
2. Исследования и разработки Сибирского отделения Российской академии наук в области энергоэффективных технологий отв. ред. С.В. Алексеев. Издательство СО РАН 2009 г. С. 399.
3. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий М., 2010 "Энергия", 584 с.
4. Храмов С., Общие сведения о мини-ТЭЦ [Электронный ресурс]: Информационная система по теплоснабжению – Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=769

Современное состояние теории, техники и технологии производства продуктов питания во фритюре

Рассматривая парк тепловых аппаратов, используемых для фритюрной жарки продуктов, необходимо выделить аппараты периодического и непрерывного действия. В общественном питании получили распространение аппараты периодического действия (фритюрницы), в консервной промышленности – жарочные машины непрерывного действия большой производительности.

Применительно к фритюрницам, эксплуатируемым на предприятиях общественного питания известны работы Гордона Л.И., Королёвой Н.Г., Беляева М.И., Фёдорова И.Н., Положенцева Г.Н., в которых рассмотрены конструктивные особенности аппаратов этого рода в непосредственной связи с кинетикой протекающих в них процессов.

Исследователями экспериментально доказано, что качество жареных во фритюре продуктов зависит от соотношения масс жира и продуктов в рабочем объеме аппарата (ванне).

Так, в работах, посвященных исследованию первых отечественных образцов фритюрниц, установлено, что рабочие объемы (жарочные ванны) в 4-7 раз превышали требуемое соотношение масс жира и продукта (1:17 – 1:28 вместо 1:4) по условиям технологии производства продуктов общественного питания.

Попутно следует отметить, что рекомендуемое соотношение жира и продукта в ванне 1:4 при экспериментальной проверке оказалось недостаточным. Впоследствии это соотношение экспериментально уточнено и доказано, что рациональным соотношением масс жира и продукта в ваннах фритюрниц периодического действия является 1:8 – 1:1. При последующей разработке конструкции фритюрниц, выпускаемых и эксплуатируемых в общественном питании в настоящее время, заложено именно это соотношение жира и продукта. Эти же авторы изучили теплоотдачу от поверхности ТЭНов фритюрницы к жиру при его свободной конвекции, применительно к фритюрницам периодического действия, имеющим малый, в сравнении с жарочными новинами непрерывного действия, объём жарочных ванн.

Полученные авторами данные были использованы при расчете комбинированной фритюрницы, реализующей комбинированный способ жар-

ки продуктов. В предложенной конструкции на первой стадии процесса продукт обжаривается в горячем жире до появления корочки поджаривания на его поверхности, а на второй – перемещается в среду горячего воздуха, где доводится до состояния кулинарной готовности. При таком способе сокращается длительность пребывания продуктов в жире и, следовательно, общая длительность нагрева жира в одном цикле жарки продукта.

Установлено, что на первой стадии комбинированного способа жарки (в горячем жире) предпочтительно применение погружного способа, т.е. когда весь продукт находится в объеме горячего жира.

Дальнейшее развитие работы, в анализируемом аспекте, получило в диссертации Коновалова В.П., в которой он указывает на то, что основной характеристикой, определяющей соотношение между количеством жира и продукта при жарке во фритюре, является суммарная поверхность взаимодействия продукта с жиром, а не масса загружаемого продукта. По мнению автора, это связано с тем, что при увеличении площади поверхности обжариваемого продукта увеличивается и скорость испарения влаги. Показано, что с целью снижения температуры поверхности нагрева и увеличения коэффициента сменяемости жира необходимо применять нагреватели как можно меньшего диаметра.

За последние годы исследователи обосновывают новые способы фритюрной жарки: в горячей жире с последующим доведением до готовности в горячем воздухе, жарка под давлением, под вакуумом; жарка продуктов после и до СВЧ-обработки, после подсушивания сырья и др. Предлагают новые конструктивные решения аппаратов для реализации созданных ими процессов. Например, Беляевым М.И. предложен комбинированный способ жарки, сочетающий в себе две стадии – нагрев продукта в жире и последующее его доведение до готовности в СВЧ-поле, возможно также (для некоторых продуктов) изменение последовательности стадий. В работах Некрутмана С.В. и Плечевой Н.И. показано, что для комбинированной фритюрницы сочетающей одновременный (непрерывный) нагрев жира в ванне с помощью СВЧ-поля и ТЭНов возможно получить технологический эффект, заключающийся в снижении скорости химических превращений жира. Однако в последующем в работе убедительно доказано, что непрерывный нагрев жира в СВЧ-поле неприемлем, так как специфика воздействия СВЧ-поля на жир приводит к значительному ускорению скорости его нежелательных химических превращений.

Отмечая прогрессивность направления комбинированной фритюрной жарки продуктов с помощью СВЧ-поля, необходимо развивать традиционные способы фритюрной жарки и особенно в жарочных машинах большой

производительности, что в условиях индустриализации общественного питания является чрезвычайно актуальным делом. Отмеченное обусловлено ещё и тем, что срок службы СВЧ-аппаратов недолговечен.

Проведены исследования по созданию жарочных малин, в которых сочетается обжаривание продукта во фритюре с ИК-излучением. При этом установлено, что скорость удаления влаги при обжаривании в инфракрасных лучах выше, чем при обжаривании в глубоком слое жира. В рассматриваемом комбинированном способе продукты предварительно обжариваются в глубоком слое жира.

Литература

1. Коновалов В.Л. Исследование тепло- и массопереноса при жаренье во фритюре с целью совершенствования методов расчета и конструкций электрических фритюрниц. Дисс.канд.техн.наук. Л.: 1978, 251 с.

2. Цэцгээ Д. Научные основы технологии мучных изделий, обжаренных во фритюре. Дисс.докт.техн.наук. М.: 2007, 155 с.

СЕКЦИЯ «ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

Мифтахов М.Н.,

канд. техн. наук, доцент

Комплексная утилизация отходов производств, содержащих органику

В настоящее время в РФ наблюдается тенденция использования отходов производства с целью извлечения из них электро- и тепловой энергии [1, с.56-58]. Особое место в спектре новых технологий занимает пиролизная переработка органических отходов [2, с.20-23]. К таким отходам можно отнести такие органосодержащие отходы, как отходы предприятий по производству бумаги, картона, отходы очистных сооружений по очистке сточных вод (так называемые иловые осадки), отходы животноводства, нефтешламы [3]. В ряду всех органосодержащих отходов относительно малоизученными являются волокнистые отходы картонно-бумажных производств (скоп). Так, на Набережночелнинском КБК, несмотря на частичное повторное использование ежегодно образуется свыше 30000 т такого отхода. Скоп представляет собой волокнистый осадок сточных вод бумажного производства, оседающий на фильтрах очистных сооружений. Основную массу скопа составляют целлюлозные волокна со значительной долей неорганических (глины) и органических примесей. В связи с вышеуказанным, особый интерес представлял поиск методов повторного и эффективного использования скопа. С этой целью на полигоне размещения скопа были отобраны 2 пробы скопа для их последующего изучения. Первая проба представляла собой неочищенный скоп, включающий механические примеси (13%), бумагу (31%), полиэтилен (1%) и воду (55%) Во второй пробе, частично повторно используемой в производстве, механические примеси отсутствуют, вся масса скопа представляет собой практически однородную рыхлую массу серого цвета с влажностью 60% (влажность определяли по методике [4]).

По внешнему виду скоп представляет собой волокнистый осадок сточных вод бумажного производства, оседающий на фильтрах очистных сооружений предприятия.

С целью изучения вопроса дальнейшего возможного эффективного использования скопа в качестве пиролизного сырья, было проведено определение содержания в нем органической части.

Для определения органической части в скопе, пробу скопа сперва высушивали, затем выдерживали в муфельной печи до полного озоления при температуре 500 °С. На органическую часть в сухом скопе приходится 55% масс., а на неорганическую - 45% масс. В пересчете на влажный скоп (образец 2) органическая часть составила 22% масс, а неорганическая – 18% масс. Содержание в скопе органики недостаточно, очевидно, для использования его, как единственного компонента, в качестве энергетического сырья. Однако, возможно использование скопа в качестве основного сырья в сочетании с другими органическими отходами (древесные отходы, отходы пищевых производств, сельскохозяйственные отходы) в пиролизных процессах с целью получения газового и (или) жидкого топлива.

Другое направление использования скопа – применение его в качестве компонента в производстве строительных материалов, например, конструкционных и теплоизоляционных [5] и использование его в качестве сырья в плазменном процессе.

Литература

1. А.В. Исаева. Отходы как перспективный источник энергии. / Экология производства, № 10, октябрь 2014г. с.56-58.
2. Ю.Н. Шаповалов, Е.В. Склядnev, М.Ю. Балабанова. Техно-экономические основы пиролизной переработки целлюлозосодержащих отходов производства пищевых и кормовых добавок. / Экология и промышленность России, сентябрь 2014г. с.20-23.
3. Д.С. Янковой, К.В. Ладыгин, С.И. Стомпель. Новая технология утилизации нефтешламов. / Экология производства, №9, сентябрь 2014 г. с. 47-52.
4. ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности.
5. Козлов И.А. Новые конструкционно-теплоизоляционные материалы на основе скопа - отхода целлюлозно-бумажной промышленности. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Челябинск. 2008г.

Шарафутдинов Р.Н.,
канд. биол. наук, доцент,
Бусурманова Р.Н.,
инженер

Палеогенезис подзолистой почвы на древнеаллювиальных наносах левобережья заповедника «Большая Кокшага»

На почвообразовательные процессы и соответственно на морфологический облик почв сказывается влияние факторов, которые являются «продуктом совокупной деятельности: а) грунта, б) климата, с) растений и животных, d) возраста страны и отчасти e) рельефа местности»[3]. Поэтому, рассматривая факторы или причины, влияющие на те или иные признаки и свойства почвы, не уделять внимания ни одному из них не приходится, но в качестве исследуемых, в первую очередь, в нашем случае берем возраст страны (время) и климат. Фактор времени у И.А. Соколова, В.О. Таргульяна выражены через «почва-память» и «почва-момент»[5]. Но в характеристику «почвы-памяти», помимо формирования того или иного генетического типа почвы зонального или азонального может накладываться влияние почвообразующих факторов, меняющихся в ходе эволюции физико-географической обстановки, в том числе и климата.

Объекты наших исследований находится в левобережной части реки Большая Кокшага на территории одноименного заповедника, на краевой части первой надпойменной террасы в 10 – 30 м от перехода ее пойму реки. Ландшафт в целом песчаный сложенный древнеаллювиальными наносами и занятый преимущественно сосновыми лесами с примесью березы, редким подростом ели, а в напочвенном покрове зелеными мхами, орляком, редкими куртинами брусники и черники.

Согласно нашему предположению почвообразование на краевой части нижней припойменной террасы происходило в прошлом в иных климатических условиях. Наша гипотеза состоит в том, что в истории развития бассейна реки Большая Кокшага был более полноводный период, а уровень воды в меженный период находился существенно выше - предположительно глубиной около 0,5 м. Такие условия водного режима в пределах почвенного профиля способствовали протеканию полуболотных процессов, связанных, прежде всего, с развитием глеевых процессов в средней и нижней части почвенного профиля, при этом в верхней части почвенной толщи в условиях временного переувлажнения преобладало оглеение, а в период освобождения от гравитационной влаги – процессы оподзоливания

и переноса нисходящим движением почвенной влагой кислых продуктов разложения органического вещества.

Доказательством пока может служить морфологическое описание шести почвенных разрезов на участке около 500 м². Наиболее интересным и важным в этих описаниях нам представляется сочетание следующих признаков: наличие мощного и глубокого до 50 – 60, а местами до 80 см ярко отбеленного горизонта оподзоливания, что свидетельствует о достаточно длительном переувлажнении в теплые периоды времени года, а также залегание ниже горизонта оподзоливания ярко выраженного ортзанда темно-буро-кофейной окраски - как следствие частой смены режима избыточного увлажнения на противоположный.

Особенностью рассматриваемых разрезов является нетипичное строение и состояние органического вещества. Если для подзола обычно характерно деление лесной подстилки на подгоризонты разной с разной степенью степени деструкции, переработки и преобразования (О-F-H), а местами и оторфованные, переходящие в пропитанную гумусовыми веществами органо-минеральную массу, то в исследуемых разрезах обнаруживаем морфологические признаки, позволяющие сделать выводы об иных физико-географических условиях формирования, как органического вещества, так и почвенных профилей в целом.

В условиях достаточно постоянного близкого залегания грунтовых вод органические горизонты, скорее всего, были заторфованы, но в процессе эволюции речной долины и соответствующего снижения уровня грунтовых вод, преобладания аэрации верхних слоев почв над переувлажнением, происходили изменения и в трансформации органического вещества – процессы торфообразования сменились на формирование более дифференцированного по степени разложения лесного опада и более гумуфицированного и в сильной степени диспергированного органического детрита в нижних подгоризонтах лесной подстилки. В почвенных разрезах от предполагаемых в прошлом гидрогенных стадий почвообразования были обнаружены прослой пылеватого органического вещества в пространстве между гумусированным подгоризонтом лесной подстилки(H) и нижележащим минеральным гумусовым горизонтом (A).

Замечательной особенностью исследуемых подзолов является их увлажненность – по всему почвенному профилю сверху вниз до глубины 160 – 180 см - равномерное в пределах градаций – «свежий» - «влажный», то есть в настоящих условиях не происходит застоя инфильтрующейся влаги и не наблюдаем соответствующего переувлажнения. Другой особенностью макроморфологии почвенных разрезов является переход иллюви-

ально-гумусово-железистых (альфегумусовых) горизонтов в относительно однородную как по окраске, так и по гранулометрическому составу песчаную почвообразующую породу без признаков оглеения. Можно предположить, что в прежнюю эпоху почвообразования почва развивалась по типу торфянистого поверхностно оглеенного подзола.

Насколько далеко от уступа первой надпойменной террасы вверх по пологому склону наблюдается описываемая нами картина пока сказать нельзя. Для этого нужно проводить дополнительные исследования как почвенных профилей по геоморфологическому профилю, так и детальные почвенные анализы. Были также заложены в этот же период исследований разрезы на удалении от исследуемого участка и несколько в стороне (300-400 м), влияние грунтовых вод пойменного генезиса конечно на эти почвы отсутствует, но для сравнения можно отметить, что в последних из них наблюдали грунтовое оглеение и оподзоливание. Однако мощность подзолистого горизонта значительно меньше, в пределах 5- 15 см, но на глубине около 1 м была обнаружена грунтовая вода. Надо полагать, что внизу находится водоупор и в целом почвенная толща более увлажнена по сравнению с описанными выше мощными подзолами.

Конечно, остаются открытыми пока вопросы, связанные с особенностями условий почвообразования на краевой части надпойменной террасы, главным из которых, по-нашему мнению, является характер изменения гидрологических параметров развития речной долины Большой Кокшаги в прошлом, что, в свою очередь, может быть увязано с климатической обстановкой и соответственно с большей увлажненностью той эпохи.

Поэтому необходимо исследовать связи эволюции почвообразования с изменениями климатических параметров в разные временные промежутки - тысячелетия, столетия. Для этого могут быть привлечены данные, опубликованные для территории данного заповедника [1], [2], [4].

Литература

1. Демаков Ю. П. Климат заповедника и характер изменчивости основных метеорологических показателей / Ю. П. Демаков // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 1. – Йошкар-Ола, 2005. – С. 125-150.
2. Демаков Ю. П. Изменения климата и состояния лесов республики Марий Эл в XX столетии / Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин, А. Е. Смыков // Вестник МарГТУ. Йошкар-Ола, №2, 2009. – С. 40 -48.
3. Докучаев В.В. Избранные сочинения. М. – 1954. – С. 427 – 428.

4. Исаев А.В. Гидрологический режим реки Большая Кокшага / А.В. Исаев А.В., А.И. Толстухин // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 6 / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2013 – 370 с

5. Соколов И.А., Таргульян В.О. Взаимодействие почвы и среды: почва-память и почва-момент / И.А.Соколов, В.О. Таргульян // Изучение и освоение природной среды. М.: Наука. 1976. - с. 150-164.

Абрамова В.В.,

канд. физ.-мат. наук, доцент

Метод коллокации для одного класса интегральных уравнений

Значительное число теоретических и прикладных задач приводит к необходимости решения различных классов интегральных уравнений. Теория таких уравнений в настоящее время достаточно хорошо разработана и из нее следует, что указанные уравнения точно решаются лишь в редких частных случаях. Поэтому, как для теории, так и, в особенности, для приложений первостепенное значение приобретает разработка аппроксимативных методов решения интегральных уравнений с соответствующим теоретическим обоснованием.

Рассмотрим периодическое интегральное уравнение типа свёртки вида:

$$Ax \equiv a(s)x(s) + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} g(s-\sigma)x(\sigma)d\sigma = y(s), \quad (1)$$

где $a(s) \in C_{2\pi}$, $y(s) \in L_2(0, 2\pi)$, $g(s) \in L_1(0, 2\pi)$; если же $g(s) \notin L_1(0, 2\pi)$, то предполагается, что интеграл в (1) существует хотя бы в смысле главного значения по Коши–Лебегу и соответствующий интегральный оператор

$$G(x, s) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} g(s-\sigma)x(\sigma)d\sigma$$

является ограниченным в пространстве $L_2 = L_2(0, 2\pi)$.

Пусть функции $a(s)$ и $g(s)$ удовлетворяют одному из следующих условий

$$1) a(s) \dots \gamma^2 = const > 0 \text{ и } g(-s) = -g(s); \quad (2)$$

$$2) a(s) \dots \alpha = const, \quad g(-s) = g(s) \text{ и } \gamma^2 \equiv \alpha + \min_{k=0, \pm 1, \dots} c_k(g) > 0. \quad (3)$$

Тогда решение рассматриваемого уравнения существует и единственно [1, с.25-26].

Приближённое решение уравнения (1) при $a(s), y(s) \in C_{2\pi}$ будем искать в виде полинома

$$x_n(s) = \sum_{k=-n}^n \beta_k e^{iks}, \quad n \in \mathbb{N}, \quad \overline{\beta}_k = \beta_{-k}, \quad (4)$$

а неизвестные коэффициенты $\beta_k = \beta_{k,n}$ будем определять по методу коллокации из условий

$$A(x_n; s_j) = y(s_j), \quad j = \overline{-n, n}, \quad (5)$$

где

$$s_j = \frac{2j\pi}{2n+1}, \quad j = \overline{-n, n}, \quad n \in \mathbb{N}. \quad (6)$$

Условия (5)–(6) [1, с.26] эквивалентны следующей СЛАУ метода коллокации решения интегрального уравнения (1) относительно коэффициентов полинома (4):

$$\sum_{k=-n}^n \beta_k [a(s_j) + c_k(g)] e^{iks_j} = y(s_j), \quad j = \overline{-n, n}. \quad (7)$$

Для метода (1), (5)–(7) справедливы следующие теоремы:

Теорема 1. Пусть $y(s) \in C_{2\pi}$. Тогда при выполнении одного из условий (2), (3) СЛАУ (7) однозначно разрешима при любых $n \in \mathbb{N}$, а приближённые решения (4) удовлетворяют соотношениям

$$P x_n P = \left\{ \sum_{k=-n}^n |\beta_k|^2 \right\}^{1/2}, \quad \gamma^{-2} \left\{ \frac{1}{2n+1} \sum_{j=-n}^n |y(s_j)|^2 \right\}^{1/2}, \quad n \in \mathbb{N}. \quad (8)$$

Доказательство. Для любой функции $f(s) \in C_{2\pi}$ положим

$$L_n(f; s) = \frac{2}{2n+1} \sum_{j=-n}^n f(s_j) D_n(s-s_j), \quad n \in \mathbb{N},$$

где $D_n(\theta)$ — ядро Дирихле порядка n . Тогда условия (5)–(6), а

следовательно, и СЛАУ (7) эквивалентны операторному уравнению

$$A_n x_n \equiv L_n A x_n = L_n y \quad (x_n, L_n y \in H_n^T). \quad (9)$$

Известно [2, с.107], что аддитивный и однородный проекционный оператор L_n является неограниченным в пространстве $L_2 = L_2(0, 2\pi)$; тем не менее мы докажем, что операторы A_n из (9) линейно обратимы при любых $n \in \mathbb{N}$ и для обратных операторов $A_n^{-1} : H_n^T \rightarrow H_n^T$ справедливы неравенства

$$P A_n^{-1} P, \gamma^{-2} < \infty, \quad n \in \mathbb{N}. \quad (10)$$

С этой целью уравнение (9) запишем в виде

$$A_n x_n \equiv L_n(ax_n) + Gx_n = L_n y \quad (x_n, L_n y \in H_n^T), \quad (11)$$

что возможно, так как $Gx_n \in H_n^T$ для любого $x_n \in H_n^T$ и $L_n^2 = L_n$. Отсюда с учётом наивысшей тригонометрической степени точности квадратурной формулы левых прямоугольников с узлами (6), равной $2n$, для любого $x_n \in H_n^T$ последовательно находим

$$\begin{aligned} (A_n x_n, x_n) &= (L_n(ax_n), x_n) + (Gx_n, x_n) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} x_n(s) L_n(ax_n, s) ds + \\ &+ (Gx_n, x_n) = \frac{1}{2n+1} \sum_{j=-n}^n a(s_j) |x_n(s_j)|^2 + (Gx_n, x_n) \dots \frac{\theta}{2n+1} \sum_{j=-n}^n |x_n(s_j)|^2 + \\ &+ (Gx_n, x_n) = \theta P x_n P^2 + (Gx_n, x_n) \dots \gamma^2 P x_n P^2, \quad x_n \in H_n^T; \end{aligned} \quad (12)$$

здесь $\theta = \gamma^2$ в условиях (2) и $\theta = \alpha$ в условиях (3).

Из (12) следует оценка:

$$P A_n x_n P \dots \gamma^2 P x_n P, \quad x_n \in H_n^T,$$

а из неё следует двусторонняя обратимость операторов $A_n : H_n^T \rightarrow H_n^T$ и справедливость оценок (10). Поэтому для приближённых решений (4) справедливы неравенства

$$P x_n P = P A_n^{-1} L_n y P, \gamma^{-2} P L_n y P, \quad n \in \mathbb{N}.$$

Отсюда, с учётом точности квадратурной формулы прямоугольников с узлами (6), находим соотношения (8).

Теорема 2. Пусть $a(s), y(s) \in C_{2\pi}$, а ядро $g(s)$ таково, что оператор $G: L_2 \rightarrow C_{2\pi}$ ограничен. Тогда при выполнении одного из условий (2), (3) точное решение уравнения (1) $x^* \in C_{2\pi}$ и приближённые решения (4) сходятся к нему в $L_2(0, 2\pi)$ со скоростью, определяемой неравенством

$$\|Px^* - x_n\|_{L_2} \leq 2E_n^T(x^*)_{C_{2\pi}} \{1 + \gamma^{-2} PGP_{L_2 \rightarrow C_{2\pi}}\}, \quad n \in \mathbb{N}. \quad (13)$$

где $E_n^T(x^*) = \inf_{z_n \in H_n^T} \|Px^* - z_n\|_P$ — наилучшее среднеквадратическое приближение функции $x^*(t) \in L_2(0, 2\pi)$ тригонометрическими полиномами порядка не выше n .

Доказательство. В условиях теоремы справедливо тождество

$$x^* \equiv \frac{y(s)}{a(s)} - \frac{1}{a(s)} G(x^*; s). \quad (14)$$

В силу теоремы 1 [1, с.26] $x^* \in L_2(0, 2\pi)$, а в силу свойства оператора G имеем $G(x^*; s) \in C(0, 2\pi)$. Поэтому из тождества (14) следует, что $x^* \in C_{2\pi}$.

Для оценки погрешности аппроксимации метода можно применить лемму 2.2 [3, с.7]; тогда с учётом легко проверяемых соотношений

$$L_n\{a(x^* - L_n x^*)\} = 0,$$

$$PL_n P_{C_{2\pi} \rightarrow L_2} = 1, \quad n \in \mathbb{N},$$

леммы 6 [2, с.107] и неравенств (10) имеем

$$\begin{aligned} \|Px^* - x_n^*\|_{L_2} &= \|(E - A_n^{-1} L_n G)(x^* - L_n x^*)\|_{L_2} \\ &\leq \{1 + PA_n^{-1} P_{H_n^T \rightarrow H_n^T} PL_n P_{C_{2\pi} \rightarrow L_2} PGP_{L_2 \rightarrow C_{2\pi}}\} \|Px^* - L_n x^*\|_{L_2} \\ &\leq 2(1 + \gamma^{-2} PGP_{L_2 \rightarrow C_{2\pi}}) E_n^T(x^*)_{C_{2\pi}}. \end{aligned}$$

Теорема доказана.

Литература

1. Абрамова В.В. Решение периодических интегральных уравнений типа свертки с положительными операторами. Научно-технический вестник Поволжья. 2015. №3 с.25-28.
2. Габдулхаев Б.Г. Оптимальные аппроксимации решений линейных задач. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1980. – 232 с.
3. Габдулхаев Б.Г. Численный анализ сингулярных интегральных уравнений. Избранные главы. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1995. – 230 с.
4. Канторович Л.В., Акилов Г.П. Функциональный анализ в нормированных пространствах. – М.: Физматгиз, 1959. – 684 с.

Аглямзянова Г.Н.,

канд. физ.-мат. наук, доцент

О существовании решения задачи Дирихле для уравнения смешанного типа с сильным вырождением

В последние годы часто при решении краевых задач для уравнений смешанного типа в прямоугольных областях применяют аналог метода Фурье. В этом случае для существования решения важную роль играет обоснование применяемого метода. Здесь и возникают определенные трудности.

В классическом случае метода Фурье для уравнений гиперболического или параболического типа нахождение коэффициентов общего решения задачи сводится к решению последовательности линейных алгебраических уравнений. В случае же уравнений смешанного типа получается последовательность систем линейных алгебраических уравнений с двумя переменными. Для обоснования существования решения краевой задачи необходимы оценки определителей снизу.

В данной статье приведена попытка оценки такого определителя, полученного в работе Хайруллина Р.С.[1] при исследовании задачи Дирихле для уравнения смешанного типа второго рода с сильным вырождением

$$u_{xx} + \gamma u_{yy} + \alpha u_y = 0, \quad \alpha \leq -1/2, \quad (1)$$

в области $\Omega = \{(x, y): 0 < x < 1, -\beta < y < \gamma\}$, где $\beta > 0$ и $\gamma > 0$.

Пусть m и n - натуральные числа, удовлетворяющие неравенствам $-1/2 < \alpha + n = \alpha_0 \leq 1/2$, $1 < 2\alpha + m \leq 2$. Очевидно, что $m = 2n + 2$ при $-1/2 < \alpha_0 \leq 0$ и $m = 2n + 1$ при $0 < \alpha_0 \leq 1/2$. Обозначим $\Omega_1 = \Omega \cap \{y > 0\}$, $\Omega_2 = \Omega \cap \{y < 0\}$.

В работе Хайруллина Р.С. поставлена следующая задача Дирихле и доказана теорема единственности ее решения.

Задача Дирихле. В области Ω найти функцию $u(x, y)$ со свойствами:

1. $u(x, y) \in C^2(\Omega_1 \cup \Omega_2)$ и удовлетворяет уравнению (1) в $\Omega_1 \cup \Omega_2$;
2. существуют пределы из областей Ω_i , $i = 1, 2$,

$$\tau_i(x) = \lim_{y \rightarrow 0, (x, y) \in \Omega_i} u(x, y),$$

$$v_i(x) = \lim_{y \rightarrow 0, (x, y) \in \Omega_i} |y|^\alpha [u(x, y) - A_\alpha(x, y; \tau_i)]_y,$$

где

$$A_\alpha(x, y; \tau) = \sum_{s=1}^{[m/2]} \frac{(-1)^s}{(\alpha)_s s!} \tau^{(2s)}(x) y^s, \quad \alpha \neq -n,$$

$$A_\alpha(x, y; \tau) = \sum_{s=1}^n \frac{(-1)^s}{(\alpha)_s s!} \tau^{(2s)}(x) y^s - \frac{\tau^{(2n+2)}(x) y^{n+1}}{n!(n+1)!} \ln|y|, \quad \alpha = -n,$$

$[\cdot]$ - целая часть числа,

$$(\alpha)_0 = 1, \quad (\alpha)_s = \alpha(\alpha+1)(\alpha+2) \cdots (\alpha+s-1),$$

и на особой линии выполняется условие склеивания

$$\tau_1(x) = \tau_2(x), \quad v_1(x) = (-1)^n v_2(x), \quad 0 < x < 1;$$

3. $u(x, y)$ удовлетворяет краевым условиям

$$u(0, y) = 0, \quad u(1, y) = 0, \quad -\beta \leq y \leq \gamma,$$

$$u(x, \gamma) = \varphi_1(x), \quad u(x, -\beta) = \varphi_2(x), \quad 0 \leq x \leq 1,$$

где $\varphi_i(x)$ - заданные функции.

В случае $\alpha \neq -n$ решение имеет вид

$$u(x, y) = \sum_{k=0}^{+\infty} X_k(x) \left(c_k \cdot |y|^{-\alpha_0} \sum_{s=0}^{+\infty} \frac{\lambda_k^s y^{s+n+1}}{(2-\alpha)_s s!} + d_k \cdot \sum_{s=0}^{+\infty} \frac{\lambda_k^s y^s}{(\alpha)_s s!} \right),$$

где коэффициенты c_k, d_k определяются из системы

$$c_k \cdot |\gamma|^{1-\alpha} \sum_{s=0}^{+\infty} \frac{\lambda_k^s \gamma^s}{(2-\alpha)_s s!} + d_k \cdot \sum_{s=0}^{+\infty} \frac{\lambda_k^s \gamma^s}{(\alpha)_s s!} = \varphi_{1,k}, \quad (2)$$

$$c_k \cdot |-\beta|^{1-\alpha} \sum_{s=0}^{+\infty} \frac{\lambda_k^s (-\beta)^s}{(2-\alpha)_s s!} + d_k \cdot \sum_{s=0}^{+\infty} \frac{\lambda_k^s (-\beta)^s}{(\alpha)_s s!} = \varphi_{2,k}. \quad (3)$$

Обозначим определитель системы (2), (3)

$$\sum_{s=0}^{+\infty} z_s = |\gamma|^{1-\alpha} \sum_{s=0}^{+\infty} \frac{\lambda_k^s \gamma^s}{(2-\alpha)_s s!} \cdot \sum_{s=0}^{+\infty} \frac{\lambda_k^s (-\beta)^s}{(\alpha)_s s!} - |-\beta|^{1-\alpha} \sum_{s=0}^{+\infty} \frac{\lambda_k^s (-\beta)^s}{(2-\alpha)_s s!} \cdot \sum_{s=0}^{+\infty} \frac{\lambda_k^s \gamma^s}{(\alpha)_s s!}. \quad (4)$$

Используя операции над рядами, вычислим каждый член ряда (4) отдельно:

$$z_0 = |\gamma|^{1-\alpha} - |-\beta|^{1-\alpha} = \begin{vmatrix} |\gamma|^{1-\alpha} & |-\beta|^{1-\alpha} \\ 1 & 1 \end{vmatrix}; \quad (5)$$

$$z_1 = \frac{\pi \cdot k}{\alpha \cdot 1!} (|\gamma|^{1-\alpha} \cdot (-\beta) - |-\beta|^{1-\alpha} \cdot \gamma) + \frac{\pi \cdot k}{(2-\alpha) \cdot 1!} (|\gamma|^{2-\alpha} - |-\beta|^{2-\alpha}) = \frac{\pi \cdot k}{\alpha \cdot 1!} \begin{vmatrix} |\gamma|^{1-\alpha} & |-\beta|^{1-\alpha} \\ \gamma & -\beta \end{vmatrix} +$$

$$+ \frac{\pi \cdot k}{(2-\alpha) \cdot 1!} \begin{vmatrix} |\gamma|^{1-\alpha} & |-\beta|^{1-\alpha} \\ -\beta & \gamma \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & |\gamma|^{1-\alpha} & |-\beta|^{1-\alpha} \\ \frac{\pi \cdot k}{(2-\alpha) \cdot 1!} & \gamma & -\beta \\ \frac{\pi \cdot k}{\alpha \cdot 1!} & -\beta & \gamma \end{vmatrix}. \quad (6)$$

Рассуждая аналогично, было получено

$$z_2 = \begin{vmatrix} 0 & |\gamma|^{1-\alpha} & |-\beta|^{1-\alpha} \\ \frac{(\pi \cdot k)^2}{(2-\alpha) \cdot (3-\alpha) \cdot 2!} & \gamma^2 & (-\beta)^2 \\ \frac{(\pi \cdot k)^2}{\alpha \cdot (\alpha+1) \cdot 2!} & (-\beta)^2 & \gamma^2 \end{vmatrix} + \frac{(\pi \cdot k)^2}{\alpha \cdot (2-\alpha) \cdot 1!} \cdot \gamma \cdot (-\beta) \cdot z_0; \quad (7)$$

$$z_3 = \begin{vmatrix} 0 & |\gamma|^{1-\alpha} & |-\beta|^{1-\alpha} \\ \frac{(\pi \cdot k)^3}{(2-\alpha) \cdot (3-\alpha)(4-\alpha) \cdot 3!} & \gamma^3 & (-\beta)^3 \\ \frac{(\pi \cdot k)^3}{\alpha \cdot (\alpha+1)(\alpha+2) \cdot 3!} & (-\beta)^3 & \gamma^3 \end{vmatrix} + \frac{(\pi \cdot k)^2}{(\alpha+1) \cdot (3-\alpha) \cdot 2!} \cdot \gamma \cdot (-\beta) \cdot z_1 +$$

$$+ \frac{(\pi \cdot k)^3}{\alpha(\alpha+1) \cdot (2-\alpha) \cdot (3-\alpha) \cdot 2!} \cdot \gamma \cdot (-\beta) \cdot (\gamma + (-\beta))z_0. \quad (8)$$

Из формул (5) – (8) просматривается закономерность о структуре n -го члена ряда (4). Предполагается, что он будет содержать сумму определителей третьего порядка и выражаться через z_0 и z_1 . Указанные исследования планируется провести в следующих работах.

Литература

1. Хайруллин Р. С. К задаче Дирихле для уравнения смешанного типа второго рода с сильным вырождением / Р. С. Хайруллин // Дифференциальные уравнения. – 2013. – т. 19. - № 4. – С. 528 –534.

Розенцвайг А.К.,
д-р техн. наук, профессор,
Страшинский Ч.С.,
канд. техн. наук, доцент

Обоснование моделей сложного теплообмена в эмульсиях несмешивающихся жидкостей

Введение. Эмульсии смазочного масла в воде широко используются для охлаждения при обработке металла резанием и смазки трущихся поверхностей. Также при обработке металлов давлением, когда из-за высокой температуры и скорости операций требуется эффективный отвод тепла, недостаточно одних только чистых масел.

При охлаждении поверхности металла эмульсия нагревается до температур, превышающих температуру кипения воды, представляющей сплошную среду. Образуется паровая фаза, которая существенно изменяет условия взаимодействия диспергированных капель масла с трущимися по-

верхностями. Поэтому важное практическое значение имеет понимание механизмов сложных процессов теплообмена, происходящих при кипении в эмульсиях несмешивающихся жидкостей между соприкасающимися поверхностями. Однако состояние эмульсии с двойной дисперсной фазой (маслом и паром), обуславливающее эффективность теплообмена в этих условиях, до настоящего времени изучено недостаточно.

Некоторые закономерности теплообмена при охлаждении зоны резания эмульсионным туманом исследовалось в работе [1], где рассматривалось влияние условий генерирования эмульсионного тумана на средний диаметр капель эмульсии и их количество в единице объёма. В работе [2] выполнен анализ влияния параметров сопла на формирование эмульсионного тумана и на скорость капель на выходе из форсунки.

Вопросами, связанными с высокотемпературным трибологическим поведением эмульсий в ходе технологических процессов металлообработки изучалось в работе [3]. В статье [4] приводятся результаты экспериментального исследования трибологического поведения эмульсий на специальной установке. Получена зависимость критической температуры от концентрации диспергированного масла с учетом высоты неровностей поверхности. Для эмульсий $E1$ и $E2$ было установлено существование критической температуры, при которой резко возрастает коэффициент трения между контактируемыми поверхностями. Это явление было связано с плёночным режимом кипения эмульсии в микроканалах, возникающих в зоне неполного контакта двух металлических поверхностей.

Кипением однородных жидкостей в микроканалах различных охлаждающих устройств занимались многие исследователи [5-10]. Несмотря на сложность и неоднозначность процессов, происходящих в микроканалах, установлено, что определяющим фактором теплообмена даже при больших перегревах является механизм пузырькового кипения. Дальнейшее рассмотрение ограничено трибологическим поведением эмульсий между соприкасающимися поверхностями и условиями пузырькового кипения в микроканалах, образующихся между ними.

Определение температурных условий перехода смазки к режиму «сухого» скольжения. Трибологическое поведение смазочных эмульсий при температурах, превышающих температуру кипения сплошной среды, во многом определяется размером капель диспергированного масла, находящихся в зоне контакта поверхностей, их устойчивости, а также конвективного теплообмена. Существенными факторами в узком пространстве неполного контакта поверхностей становятся турбулизация сплошной среды паровыми пузырьками и высокий уровень вязких сдвиговых напряже-

ний. Этими факторами обусловлен характер механизмов дробления и слияния, формирующих фракционный состав дисперсной фазы.

Величина коэффициента трения зависит от размеров и количества капель смазочного масла между скользящими поверхностями. Кипение сплошной среды, с одной стороны, способствует охлаждению зоны контакта. Однако, с другой стороны, появление пузырьков паровой фазы турбулизирует и увеличивает объем сплошной среды. При этом для обеспечения смазки при данной температуре необходимо ограничить уменьшение концентрации дисперсной фазы некоторым критическим значением.

Пусть h_{\max} - суммарная максимальная высота шероховатостей, a - величина зазора между контактирующими поверхностями на некоторой площади контакта S . Тогда условие изменения режима смазки к резкому увеличению коэффициента трения записывается следующим образом:

$$(h_{\max} + a)S > n_w V_{\max} S, \quad (1)$$

где n_w - числовая концентрация одного слоя капель в эмульсии у поверхности контакта, V_{\max} - максимальный объем капель, устойчивых при дроблении в узком зазоре около смазываемой поверхности.

Учитывая, что поверхностная концентрация $n_w \sim \sqrt[3]{n^2}$, $V_{\max} = \frac{\pi d_{\max}^3}{6}$, уравнение (1) запишется в виде

$$h_{\max} + a = C_1 \sqrt[3]{n^2} d_{\max}^3, \quad (2)$$

где C_1 - экспериментальная константа, n - счётная концентрация капель масла в эмульсии, d_{\max} - максимальный диаметр капель, устойчивый по отношению к дроблению.

С учётом связи счётной n и объёмной C концентрации уравнение (2) запишется в виде

$$h_{\max} + a = C_2 d_{\max} \sqrt[3]{C^2}, \quad C = n \frac{\pi d^3}{6}. \quad (3)$$

Определение величины капель масла d_{\max} связано со специфическими особенностями поведения дисперсной фазы в узком зазоре между контактируемыми поверхностями, охлаждаемыми сплошной средой.

Характер разрушения капель эмульсий при кипении у нагретой стенки. Разрушение капель в турбулентном потоке несмешивающейся с ними жидкости, несмотря на сложность и стохастическую природу процесса, объясняет теория А.Н. Колмогорова о преобладающем влиянии локальной структуры турбулентности на устойчивость капель.

Устойчивость капли связана главным образом с межфазным натяжением [11,12] согласно модели Колмогорова - Хинце

$$d_{\max} = C_3 \frac{\sigma}{\rho_e \bar{v}^2}, \quad d_{\max} > \lambda_0, \quad (4)$$

и соотношением вязких и поверхностных сил

$$d_{\max} = C_4 \frac{\sigma}{\mu_e \frac{\partial \bar{v}}{\partial r}}, \quad d_{\max} < \lambda_0. \quad (5)$$

где σ - межфазное натяжение, λ_0 - микромасштаб турбулентных пульсаций, ρ_e - плотность сплошной среды, \bar{v} - осредненная скорость турбулентных пульсаций, C_3, C_4 - экспериментальные константы.

Устойчивость капель у нагретой поверхности будем связывать с соотношением вязких и поверхностных сил в соответствии с соотношением (5).

При кипении эмульсии используем, как и при кипении однородной жидкости [13], аналогию с однофазной вынужденной конвекцией. Для модельного представления процессов кипения введём понятие своеобразного пограничного слоя на поверхности, имеющего некоторую эффективную толщину. Порядок его величины определяется из условия соизмеримости эффективных вязких и инерционных сил.

Вне слоя преобладает пульсационное течение и перемешивание, интенсивность которого можно количественно характеризовать некоторой средней пульсационной скоростью \bar{u} . Она определяется таким образом, чтобы подсчитанная на её основе средняя кинетическая энергия пульсационного движения $\rho_e \bar{u}^2$ была равна той энергии, которая передаётся жидкости растущими в каплях у поверхности нагрева пузырьками пара:

$$\rho_e \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 R^2 n_s^* \sim \rho_e \bar{u}^2, \quad (6)$$

где R – текущий радиус пузырька пара, n_s^* – число действующих центров кипения на единицу поверхности нагрева.

Будем считать, что образование и рост парового пузырька, находящегося в перегретом слое высококипящей сплошной среды на поверхности нагрева, определяется следующим соотношением [13]:

$$R \sim \sqrt{\frac{\lambda_e (T_w - T_s)}{r \rho_v}} \sqrt{t}, \quad (7)$$

Вблизи поверхности нагрева число зародышей n_s^* с критическим радиусом R_* определяется следующим образом [14]

$$n_s^* \sim \frac{1}{R_*^2}, \quad R_* = \frac{2\sigma T_s}{r \rho_v (T_w - T_s)} \quad (8)$$

С учётом этих соотношений получим

$$n_s^* \sim \frac{(r \rho_v)^2 (T_w - T_s)^2}{(\sigma T_s)^2} \quad (9)$$

Для условий «пристенной» турбулентности напряжение трения на стенке τ_w записывается как [15]

$$\tau_w = \left(\mu_e \frac{\partial \bar{v}}{\partial r} \right)_w = \rho_e \bar{u}^2, \quad (10)$$

Тогда уравнение (5), преобразованное с учётом (3), (6) - (10), запишется

$$(T_w - T_s) = C_5 \sqrt{\frac{\sigma T_s}{\lambda_e}} \sqrt[4]{\frac{\sigma}{\rho_e (h_{max} + a)}} \sqrt[6]{C}, \quad (11)$$

Окончательное выражение для критической температуры имеет вид

$$t_w = 100 + C_5 \sqrt{\frac{\sigma T_s}{\lambda_e}} \sqrt[4]{\frac{\sigma}{\rho_e (h_{max} + a)}} \sqrt[6]{C}, \quad ^\circ\text{C}. \quad (12)$$

Сравнение модели трибологического поведения при кипении эмульсий с данными эксперимента. Рассмотрим сопоставление модельных представлений сложного теплообмена при кипении эмульсий типа «масло в воде» в узком зазоре между смазываемыми поверхностями с данными экспериментальных исследований. Для этого использованы данные работы [4] по определению критической температуры, превышение которой приводит к режиму «сухого» скольжения.

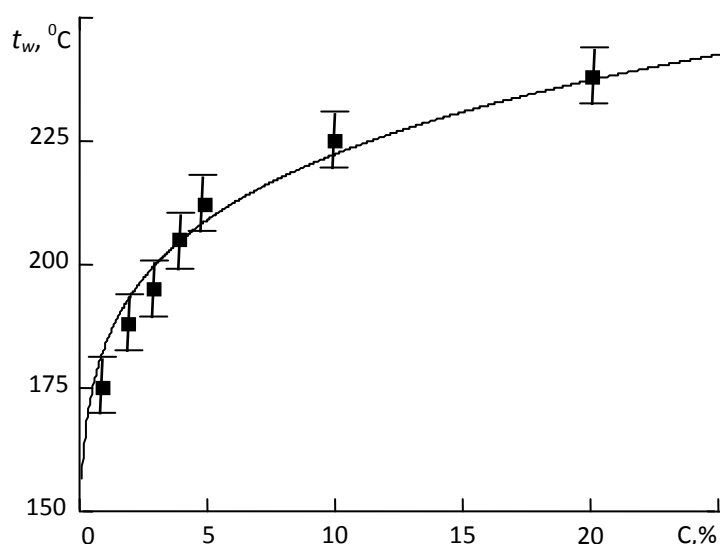


Рис.1. Зависимость критической температуры t_w от объёмной концентрации C для эмульсии $E1$ ($a = 1 \mu\text{m}$, $h_{\text{max}} = 0.5 \mu\text{m}$, $C_5 = 12.4$)

На рис.1 представлена расчетная кривая, полученная из модельного соотношения (12) для критической температуры, превышение которой приводит к «сухому» трения, от концентрации диспергированной смазки.

На рис.2 представлена расчетная кривая для зависимости критической температуры, полученной из модельного соотношения (12), от максимальной высоты шероховатостей поверхности взаимодействия для эмульсии $E1$. Экспериментальные данные также взяты из работы [4].

Точками на графиках представлены данные экспериментальных измерений критических температур и интервалами их погрешностей для эмульсии $E1$ [4]. Очевидно, что модельные представления сложного процесса теплообмена в узком зазоре между смазываемыми поверхностями не противоречат характеру реального физического явления. Это позволяет идентифицировать механизмы вязкого режима дробления диспергированного смазочного масла, обусловленного турбулизацией сплошной среды при образовании пузырьков паровой фазы.

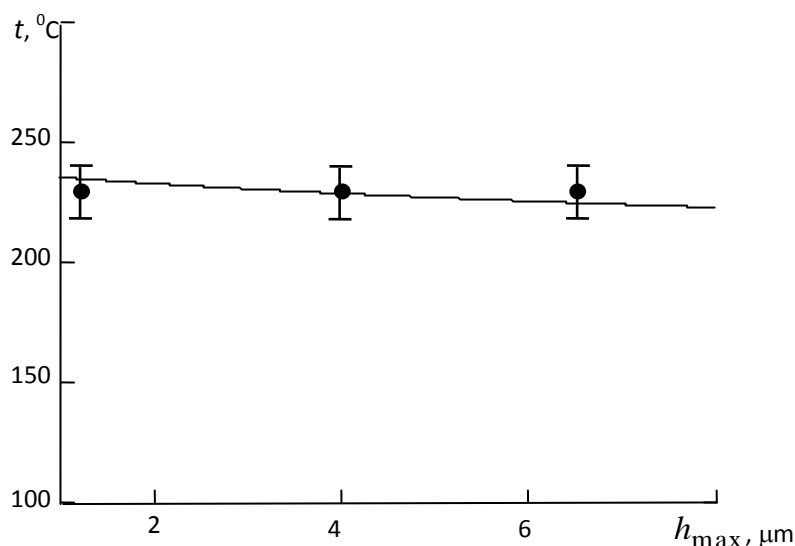


Рис.2. Зависимость критической температуры t_w от максимальной высоты шероховатостей h_{\max} для эмульсии E1 ($a = 1 \mu\text{m}$, $C = 13\%$, $C_5 = 12.4$)

Отметим, что одно и то же значение экспериментальной константы C_5 в обоих случаях, свидетельствует о достаточно общем характере модельных представлений.

Выводы

Представлена модель трибологического поведения эмульсий типа «масло в воде» при температурах, превышающих точку кипения сплошной среды эмульсии. Сравнением с данными экспериментальных измерений, представленными в работе [4], показана адекватность модельных представлений сложного теплообмена в узком зазоре между смазываемыми поверхностями.

Литература

1. E. E. Feldshtein and R. Maruda, Some regularities of the heat transfer in the process of cooling of a cutting zone by an emulsion fog, *Journal of Engineering Physics and Thermophysics.*, 79, No. 3, (2006) 179–182.
2. Radoslaw W. Maruda, et al., A study on droplets sizes, their distribution and heat exchange for minimum quantity cooling lubrication (MQCL), *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 100 (2016) 81–92.
3. M.S. Chun, J.G. Lenard, Hot rolling of an aluminium alloy using oil/water emulsions, *Mater. Process. Technol.* 72 (1997) 283–292.
4. K.R. Januszkiewicz, A.R. Riahi, S. Barakat, High temperature tribological behaviour of lubricating emulsions, *Wear* 256 (2004) 1050–1061.

5. G.M. Lazarek, S.H. Black, Evaporative heat transfer, pressure drop and critical heat flux in a small vertical tube with R-113, *Int. J. Heat Mass Transfer* 25 (1982) 945–960.
6. T.N. Tran, M.W. Wambsganss, D.M. France, Small circular- and rectangular-channel boiling with two refrigerants, *Int. J. Multiph. Flow* 22 (1996) 485–498.
7. Z.Y. Bao, D.F. Fletcher, B.S. Haynes, Flow boiling heat transfer of Freon R11 and HCFC123 in narrow passages, *Int. J. Heat Mass Transfer* 43 (2000) 3347–3358.
8. K. Balasubramanian, *et al.*, Experimental investigation of flow boiling heat transfer and instabilities in straight microchannels, *Int. J. Heat Mass Transfer* 66 (2013) 655–671.
9. Fanghao Yang, *et al.*, Flow boiling phenomena in a single annular flow regime in microchannels (I): Characterization of flow boiling heat transfer, *Int. J. of Heat Mass Transfer* 68 (2014) 703–715.
10. B. Markal, O. Aydin, M. Avci, Effect of aspect ratio on saturated flow boiling in microchannels, *Int. J. Heat Mass Transfer* 93 (2016) 130–143.
11. A. N. Kolmogorov, on the breakage of drops in a turbulent flow. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR*, 66 (1949), 825–828.
12. J. O. Hinze, Fundamentals of the hydrodynamic mechanism of splitting in dispersion processes, *AIChE Journal*, 1 (1955), 289–295.
13. D. A. Labuntsov, Physical principles of energy. Selected works on heat transfer, fluid mechanics, thermodynamics, M.: MPEI, 2000 (in Russian).
14. V. P. Skripov, Metastable liquid, M.: Nauka, 1972 (in Russian).
15. L. G. Loitsyansky, Fluid Mechanics, M.: Nauka, 1978 (in Russian).

Сарваров Ф.С.,

канд. физ.-мат. наук, доцент,

Гришкин В.В.,

ст. преподаватель,

Рамазанов Ф.Ф.,

канд. техн. наук, доцент,

Сарваров А.Ф., магистрант

Диффузионная теория рекомбинации радикалов в сильных магнитных полях с учетом δ -образного обменного взаимодействия

В сильных магнитных полях ($H_0 \geq 10^3 \text{ Э}$) спиновые взаимодействия в радикальной паре (РП) вызывают переходы только между синглетным S и

триплетным T_0 термами. В рамках Δg -механизма S- T_0 переходов спин-гамильтониан РП имеет вид [1]:

$$\hat{H} = \hbar\omega_1\hat{S}_1^z + \hbar\omega_2\hat{S}_2^z - \hbar J(r) \left(\frac{1}{2} + 2\vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2 \right), \quad (1)$$

где ω_1, ω_2 – ларморовские частоты электронных спинов РП, $J(r)$ – обменный интеграл, зависящий от расстояния r между радикалами пары.

Учитывая близкодействующий характер обменного взаимодействия, обменный интеграл выбираем в виде:

$$J(r) = J_0 \cdot \frac{\delta(r - r_0)}{4\pi r^2}, \quad (2)$$

где r_0 – радиус рекомбинации радикалов, $\delta(r - r_0)$ – дельта функция.

В диффузионной теории кинетическое уравнение для матрицы плотности РП рекомбинации изменение матрицы плотности РП $\rho(r, t)$ имеет вид [1]:

$$\frac{\partial \rho(r, t)}{\partial t} = -i\hbar^{-1} [\hat{H}, \rho(r, t)] + D\Delta\rho(r, t), \quad (3)$$

где D - коэффициент взаимной диффузии радикалов пары.

Реакция рекомбинации синглетных РП учитывается через граничное условие на радиусе рекомбинации:

$$\begin{aligned} D\nabla \rho_{SS}(r, t)|_{r=r_0} &= Ka \cdot \rho_{SS}(r_0, t), \\ D\nabla \rho_{T_0T_0}(r, t)|_{r=r_0} &= 0, \\ D\nabla \rho_{ST_0}(r, t)|_{r=r_0} &= \frac{K}{2} a \rho_{ST_0}(r_0, t), \\ D\nabla \rho_{T_0S}(r, t)|_{r=r_0} &= \frac{K}{2} a \rho_{T_0S}(r_0, t) \end{aligned} \quad (4)$$

где K – константа скорости рекомбинации синглетных РП, a – толщина реакционного слоя.

Вероятность рекомбинации РП равна:

$$\rho = 4\pi r_0^2 Ka \cdot \int_0^\infty \rho_{SS}(r_0, t) dt = 4\pi r_0^2 Ka \cdot \bar{\rho}_{SS}(r_0) \quad (5)$$

Интегрируя уравнение (3) по времени, имеем:

$$-\rho(r, 0) = -i\hbar^{-1}[\hat{H}, \bar{\rho}(r)] + D\Delta\bar{\rho}(r), \quad (6)$$

где $\rho(r, 0)$ – матрица плотности РП в начальный момент времени $t=0$. Ее выбираем в виде:

$$\rho(r, 0) = \frac{\delta(r - r_0)}{4\pi r^2} \cdot \begin{pmatrix} \gamma_S & 0 \\ 0 & \gamma_{T_0} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где $\gamma_S=1$ для исходного синглетного предшественника РП,

$\gamma_{T_0} = 1/3$ - для исходного триплетного предшественника РП.

В базисе $\{S, T_0\}$ из (6) получаем следующую систему уравнений для матричных элементов матрицы плотности $\bar{\rho}(r)$:

$$\begin{aligned} D\Delta \bar{\rho}_{SS} &= i\varepsilon(\bar{\rho}_{T_0S} - \bar{\rho}_{ST_0}) - \rho_{SS}(r, 0), \\ D\Delta \bar{\rho}_{T_0T_0} &= -i\varepsilon(\bar{\rho}_{T_0S} - \bar{\rho}_{ST_0}) - \rho_{T_0T_0}(r, 0), \\ D\Delta \bar{\rho}_{ST_0} &= i\varepsilon(\bar{\rho}_{T_0T_0} - \bar{\rho}_{SS}) + 2iJ(r) \cdot \bar{\rho}_{ST_0} - \rho_{ST_0}(r, 0), \\ D\Delta \bar{\rho}_{T_0S} &= -i\varepsilon(\bar{\rho}_{T_0T_0} - \bar{\rho}_{SS}) - 2iJ(r) \cdot \bar{\rho}_{T_0S} - \rho_{T_0S}(r, 0); \end{aligned} \quad (8)$$

где через ε обозначен матричный элемент перехода между S и T_0 состояниями:

$$\hbar\varepsilon = \langle S|\hat{H}|T_0\rangle = \frac{1}{2}\hbar(\omega_1 - \omega_2) = \frac{1}{2}(g_1 - g_2)\beta H_0 = \frac{1}{2}\Delta g\beta H_0.$$

Здесь g_1, g_2 - g – факторы радикалов пары, β - магнетон Бора, H_0 - напряженность внешнего магнитного поля.

Использование граничных условий (4) к общему решению системы уравнений (8) приводит к следующей системе алгебраических уравнений для матричных элементов матрицы плотности $\bar{\rho}(r, t)$ в точке $r = r_0$:

$$\begin{aligned} \left(1 + \frac{1}{q} + \frac{\delta}{2}\right) \cdot \bar{\rho}_{SS} - \frac{\delta}{2} \cdot \bar{\rho}_{T_0T_0} - i\frac{\delta}{2} \cdot (\bar{\rho}_{ST_0} - \bar{\rho}_{T_0S}) &= \frac{\gamma_S}{4\pi r_0 D} \\ -\frac{\delta}{2} \cdot \bar{\rho}_{SS} + \left(1 + \frac{\delta}{2}\right) \cdot \bar{\rho}_{T_0T_0} + i\frac{\delta}{2} \cdot (\bar{\rho}_{ST_0} - \bar{\rho}_{T_0S}) &= \frac{\gamma_{T_0}}{4\pi r_0 D} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
-i\frac{\delta}{2} \cdot (\bar{\rho}_{SS} - \bar{\rho}_{T_0T_0}) + \left(1 + \frac{1}{2q} + \frac{\delta}{2} + 2iJ\right) \cdot \bar{\rho}_{ST_0} - \frac{\delta}{2} \bar{\rho}_{T_0S} &= 0 \\
i\frac{\delta}{2} \cdot (\bar{\rho}_{SS} - \bar{\rho}_{T_0T_0}) + \left(1 + \frac{1}{2q} + \frac{\delta}{2} - 2iJ\right) \cdot \bar{\rho}_{T_0S} - \frac{\delta}{2} \bar{\rho}_{ST_0} &= 0;
\end{aligned} \tag{9}$$

где введены следующие обозначения:

$$\delta = \sqrt{|\varepsilon| \cdot \tau_D}; \quad \tau_D = \frac{r_0^2}{D}; \quad \frac{1}{q} = \frac{K a r_0}{D}; \quad J = \frac{J_0}{4\pi r_0 D}.$$

Решая систему (9) для $\bar{\rho}_{SS}(r_0)$ и используя (5), получаем следующий окончательный результат для вероятности рекомбинации РП:

$$p = \frac{\gamma_S \cdot [\Delta(2+\delta) + (1 + \frac{1}{2q})\delta^2] + \gamma_{T_0} \cdot [\Delta \cdot \delta + \delta^2(1 + \frac{1}{2q})]}{2\Delta \cdot (1+q) + \delta \cdot \Delta(1+2q) + \delta^2(1+2q) \cdot (1 + \frac{1}{2q})}, \tag{10}$$

где $\Delta = 4J^2 + \left(1 + \frac{1}{2q}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{2q} + \delta\right)$.

Полученный нами общий результат (10) позволяет анализировать зависимость вероятности рекомбинации от внешнего магнитного поля, а также влияние обменного взаимодействия на вероятность рекомбинации.

С этой целью рассмотрим некоторые частные случаи:

1) J – произвольное, $\delta=0$ (S-T₀ переходы отсутствуют)

$${}^s p = \frac{1}{1+q} = \frac{K \cdot \tau_p}{1+K \cdot \tau_p}; \quad T_0 p = 0. \tag{11}$$

Здесь $\tau_p = \frac{a r_0}{D}$ – время жизни РП в реакционной зоне.

Видно, что в отсутствии S-T₀ переходов получаются результаты бесспиновой теории рекомбинации.

2) J – произвольное, $\delta \rightarrow \infty$ (сильные S-T₀ переходы)

$${}^s p = \frac{1}{1+2q} = \frac{\frac{K}{2} \cdot \tau_p}{1 + \frac{K}{2} \cdot \tau_p}; \quad T_0 p = \frac{1}{3} \cdot \frac{\frac{K}{2} \cdot \tau_p}{1 + \frac{K}{2} \cdot \tau_p}; \tag{12}$$

Видно, что в этом случае происходит сильное перемешивание S и T₀ состояний и эффективная константа реакции рекомбинаций равна $K_{эфф} = K/2$

3) δ – произвольное, $J \rightarrow \infty$ (сильное обменное взаимодействие)

$${}^s p = \frac{2+\delta}{2(1+q) + (1+2q)\delta}; \quad T_0 p = \frac{\frac{\delta}{3}}{2(1+q) + (1+2q)\delta}; \tag{13}$$

Следует отметить, что эти результаты совпадают с известными результатами в [1], где авторы использовали более простое граничное условие $\overline{\rho_{ST_0}}(r_0) = 0$.

Ниже в качестве иллюстрации представлены графики зависимости вероятности рекомбинации исходных синглетных (p_1) и исходных триплетных (p_2) РП от напряженности внешнего магнитного поля ($\delta \sim \sqrt{H_0}$) и от величины обменного взаимодействия J .

На рис.1 и 2 представлены зависимости p_1 и p_2 от δ при двух значениях $J=0$ (сплошная линия) и $J=1000$ (прерывистая линия) при $q=10$.

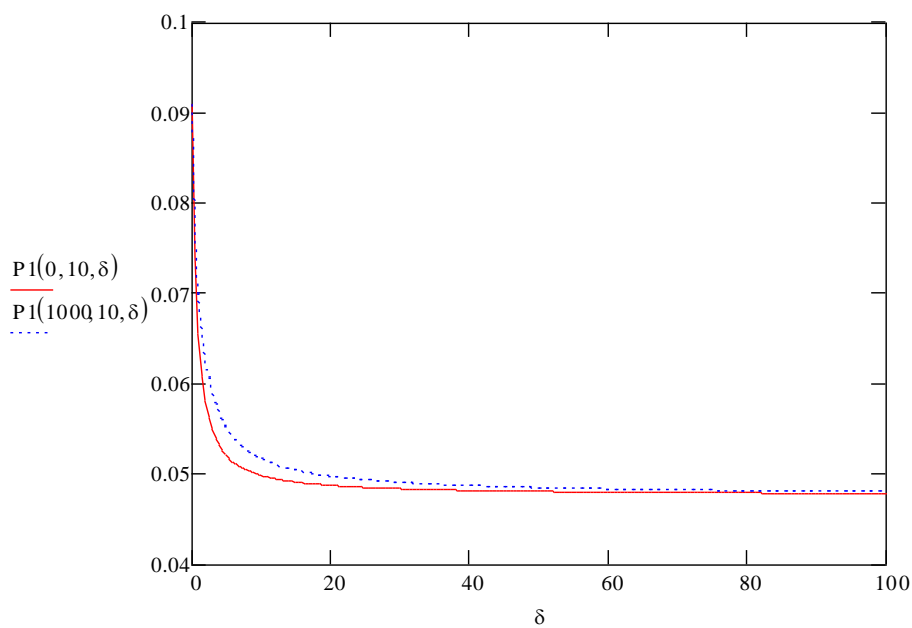


Рис. 1. Зависимость p_1 от $\delta \sim \sqrt{H_0}$ при различных J

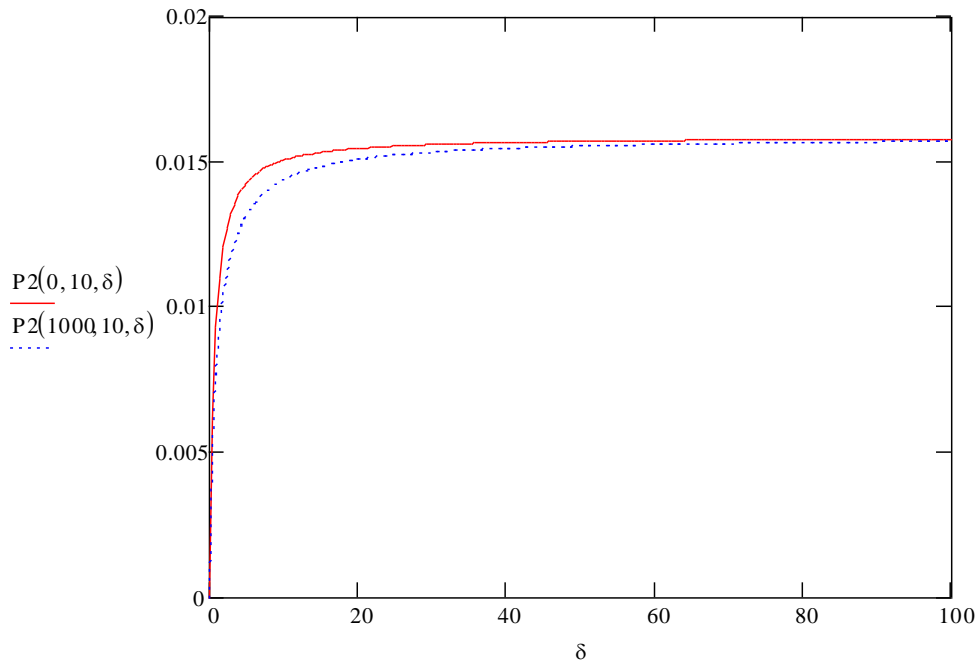


Рис. 2. Зависимость p_2 от $\delta \sim \sqrt{H_0}$ при различных J

Из рис. 1 и 2 видно, что с ростом H_0 вероятность рекомбинации исходных синглетных РП уменьшается, а исходных триплетных РП увеличивается. Причиной этого являются S-T₀ переходы в рамках Δg-механизма. также видно, что обменное взаимодействие J слабо влияет на зависимость p от H_0 .

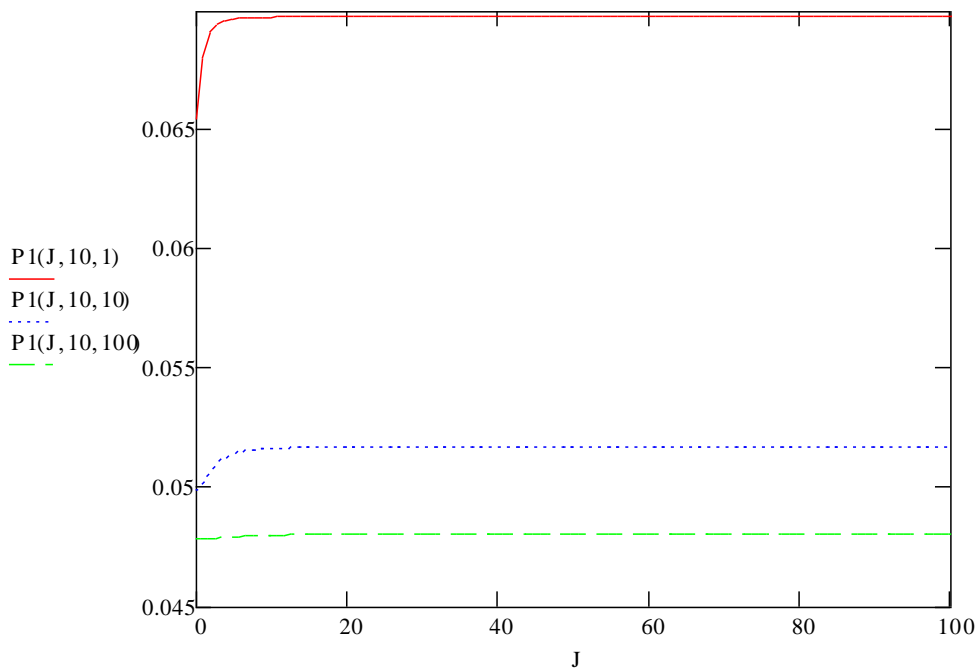


Рис. 3. Зависимость p_1 от J при различных $\delta \sim \sqrt{H_0}$

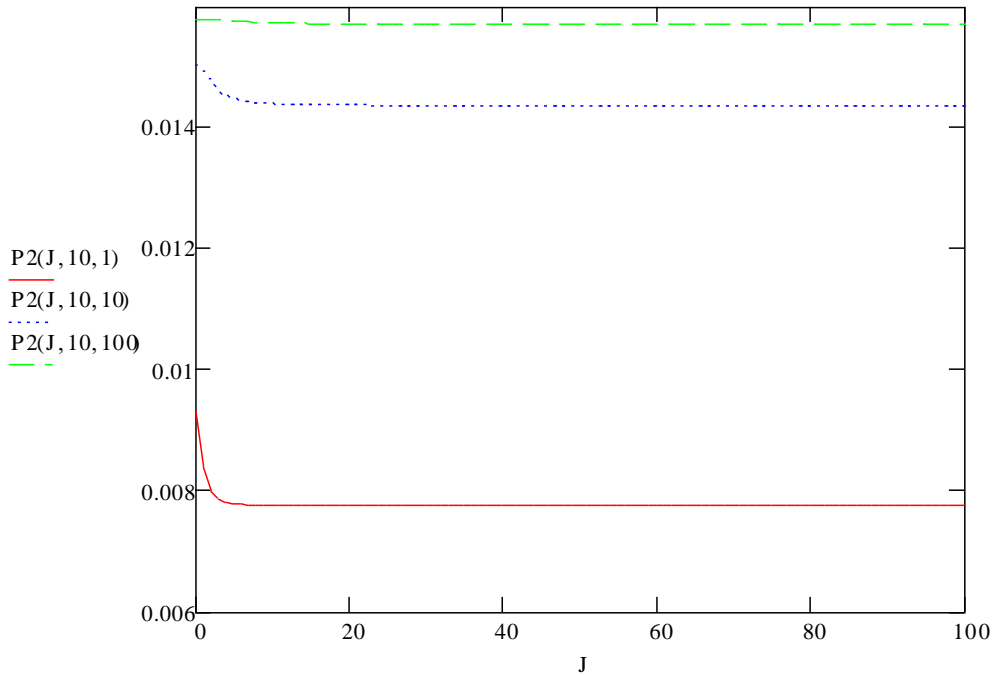


Рис. 4. Зависимость p_2 от J при различных $\delta \sim \sqrt{H_0}$

На рис. 3 и 4 представлены зависимости p_1 и p_2 от величины обменного взаимодействия J при трех значениях $\delta=1$ (верхняя кривая), $\delta=10$ (средняя кривая), $\delta=100$ (нижняя кривая) при $q=10$.

Из рис. 3 и 4 видно, что обменное взаимодействие J увеличивает вероятность рекомбинации исходных синглетных РП и уменьшает вероятность рекомбинации исходных триплетных РП. Причиной этого является расщепление S и T_0 термов, что влияет на эффективность S - T_0 переходов.

Результаты работы:

1. В рамках диффузионной модели рекомбинации получено точное аналитическое решение задачи расчета вероятности рекомбинации РП в сильных магнитных полях с учетом δ -образного обменного взаимодействия.

2. Показано влияние обменного взаимодействия на рекомбинацию радикалов. Оно увеличивает вероятность рекомбинации исходных синглетных РП и уменьшает ее для исходных триплетных РП.

3. Показано, что сильное обменное взаимодействие в реакционной зоне можно учитывать через граничное условие для $\overline{\rho_{ST_0}}(r_0)$.

Литература

1. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях / А.Л. Бучаченко, Р.З. Сагдеев, К.М. Салихов.- Новосибирск: Наука, 1978.– 296 с.

Тазмеев А.Х.,

канд. хим. наук, доцент,

Тазмеева Р.Н.,

канд. техн. наук, доцент,

Тазмеев Х.К.,

канд. техн. наук, доцент,

Балашов Д.В., магистрант

Исследование сильноточного газового разряда в малом промежутке между жидким электролитом и твердотельным электродом

Введение

Газовые разряды с жидкими электродами позволяют получить химически активную неравновесную плазму непосредственно при атмосферном давлении сравнительно простым способом. Поэтому в последние годы растет интерес к исследованию таких разрядов и возможностей их практического приложения [1-7]. На границе «плазма–электролит» происходят сложные процессы взаимодействия газового разряда с жидкой средой. Многие аспекты этих процессов в настоящее время остаются малоизученными. В работе [8] отмечено, что под воздействием высокого напряжения, приложенного к разрядному промежутку, поверхность электролита приподнимается. Когда зажигается разряд, происходит обратное явление – поверхность электролита продавливается вовнутрь. Некоторые закономерности этого явления при малых токах, не превышающих 11 А, изучены в работе [9]. Целью данной работы явилось экспериментальное исследование газодинамических явлений на границе «плазма – электролит» при более высоких значениях разрядного тока.

Эксперимент

Газоразрядный узел экспериментального устройства схематично изображен на рис. 1.

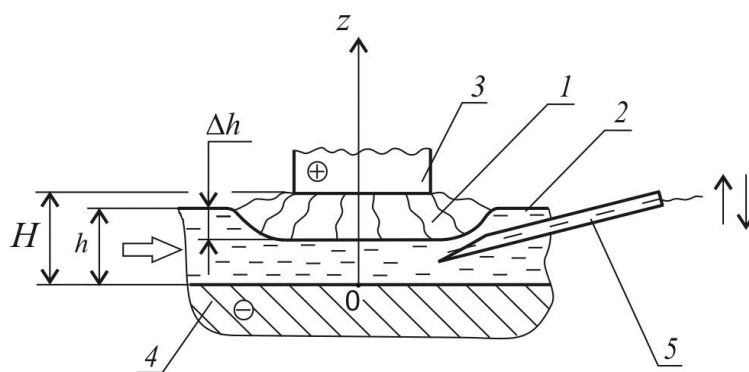


Рис. 1. Газоразрядный узел:

1 – газоразрядная зона; 2 – жидкий катод (электролит); 3 – анод; 4 – токоподвод;
5 – зонд

Разряд 1 горел между проточным электролитом 2 и водоохлаждаемым металлическим анодом 3. Направление течения электролита указано стрелкой (на рис.1 слева). Электролитом служил слабо концентрированный раствор глауберовой соли в дистиллированной воде. Удельная электрическая проводимость σ электролита при комнатной температуре находилась в пределах $(1,0 \div 2,5) \cdot 10^{-3} \text{ (Ом} \cdot \text{см)}^{-1}$. Массовый расход электролита m через зону действия разряда менялся от 8 до 40 г/с.

Анод располагался на высоте $H = 15$ мм. Толщина слоя электролита над токоподводом составляла $13,5 \pm 0,2$ мм. Таким образом, до зажигания разряда между электролитом и анодом оставался воздушный зазор равный $1,5 \pm 0,2$ мм. Разряд зажигался путем высоковольтного пробоя этого зазора. Под воздействием разряда в электролите образовалась «яма». Глубина «ям» Δh определялась по результатам измерений распределения потенциала ϕ внутри электролита с помощью одиночного электрического зонда. В опытах использовался такой же зонд, как в работе [9]. Он перемещался в вертикальном направлении координатным устройством. Механическое перемещение преобразовалось в электрический сигнал, и этот сигнал подавался на «X»-вход планшетного двухкоординатного потенциометра марки ПДП4-02. К его «Y»-входу поступал сигнал от зонда через высокоомный резистор.

Исследования проводились в диапазоне токов $(10 \div 21)$ А. Источником электрического питания служил трехфазный двухполупериодный выпрямитель. В цепи питания балластный резистор отсутствовал. Токоподвод был заземлен. Для измерения тока разряда и напряжения на разрядном узле использовались стрелочные приборы типа М1042 класса точности 0,2.

Температура электролита измерялась хромель-алюмелевой термопарой, помещенной за разрядной зоной по ходу течения электролита.

Результаты и анализ

На рис. 2 представлены графики, записанные на планшете прибора ПДП4-02 при разных значениях разрядного тока I и массового расхода электролита m . На этих рисунках вертикальная пунктирная линия обозначает толщину h слоя электролита. Как видно, во всех случаях внутри электролита потенциал φ растет линейно вдоль вертикальной координаты z , отсчитываемой от поверхности токоподвода (до точки K). Значения φ , фиксируемые зондом при его выходе из электролита, резко возрастают (после точки K). Координата точки K определяет положение границы «плазма – электролит». Глубина «ямы» Δh равна разности значений h и координаты z точки K . С увеличением тока глубина «ямы» растет. Такая закономерность наблюдается во всем исследованном диапазоне изменения параметров m и σ .

Более детальное сравнение графиков показывает, что во внутренних слоях электролита потенциал становится выше при увеличении тока. Такое повышение потенциала φ , в частности, достаточно отчетливо наблюдается для точки с координатой $z = 4$ мм. Как видно, чем больше ток, тем выше располагается график на рис. 2.

Динамическое воздействие газового разряда на жидкий электролитный катод, с образованием на его поверхности «ямы», приводит к появлению следующего примечательного явления. Оно заключается в следующем. При неизменных значениях m и σ значение потенциала φ , соответствующее точке K , практически остается постоянным. Другими словами это означает, что падение напряжения ΔU_k на жидком электролитном катоде практически не зависит от тока, т.к. значение ΔU_k численно равно потенциалу, соответствующему точке K на графиках зависимости φ от z (рис. 2).

Как было отмечено ранее, с увеличением тока графики располагаются выше. Однако при этом точка K смещается влево, в результате чего значение φ , соответствующее этой точке практически не меняется. С физической точки зрения постоянство ΔU_k объясняется следующими причинами. С одной стороны, согласно закону Ома, с увеличением тока повышается падение напряжения в электролите, что должно привести к росту ΔU_k . С другой стороны, уменьшение толщины слоя электролита при увеличении тока снижает омическое сопротивление электролитного катода, в связи с чем ΔU_k , численно равное произведению омического сопротивления на

ток, убывает. За счет этих двух взаимоисключающих факторов ΔU_k остается практически неизменной.

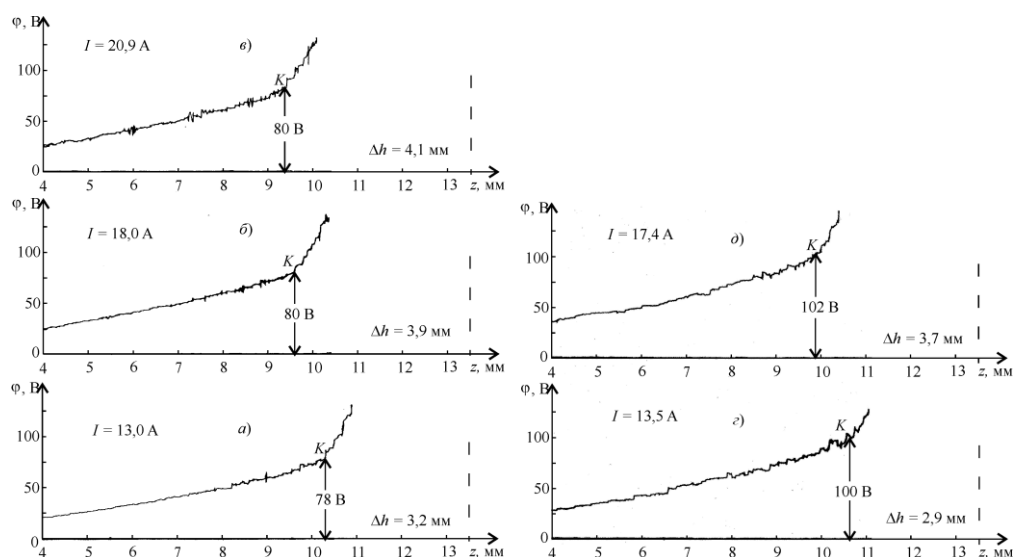


Рис. 2. Распределение потенциала внутри электролитного катода
 $\sigma = (2,50 \pm 0,05) \cdot 10^{-3} \text{ (Ом} \cdot \text{см)}^{-1}$. *а, б, в* – $m = 10 \text{ г/с}$; *г, д* – 40. Температура электролита: *а* – $t = 73 \text{ }^\circ\text{C}$; *б* – 76; *в* – 79,5; *г* – 53; *д* – 61

Как известно, омическое сопротивление электролита существенно уменьшается при повышении температуры. В наших опытах с увеличением тока температура электролита повышалась, следовательно, его омическое сопротивление уменьшалось. А это в свою очередь должно привести к уменьшению ΔU_k . Таким образом, имеется еще одна, по-видимому, более существенная, причина, влияющая на ΔU_k . Она заключается в нагреве электролита. При больших массовых расходах электролит мало нагревается, и поэтому с ростом m на катоде формируется более высокое падение напряжения ΔU_k , в частности это видно из сравнения данных, представленных на рис. 2. При $m = 10 \text{ г/с}$ падение напряжения на катоде находится в пределах $78 \div 80 \text{ В}$ (рис. 2: *а, б* и *в*), а при $m = 40 \text{ г/с}$ оно составляет $100 \div 102 \text{ В}$ (рис. 2: *г* и *д*).

Углубление «ям» при увеличении тока удлиняет разрядный промежуток, что в свою очередь приводит к повышению напряжения горения разряда U_r и вместе с ним напряжения на клеммах газоразрядного устройства: $U = \Delta U_k + U_r$. По этой причине вольтамперные характеристики (ВАХ) получаются возрастающие (рис. 3).

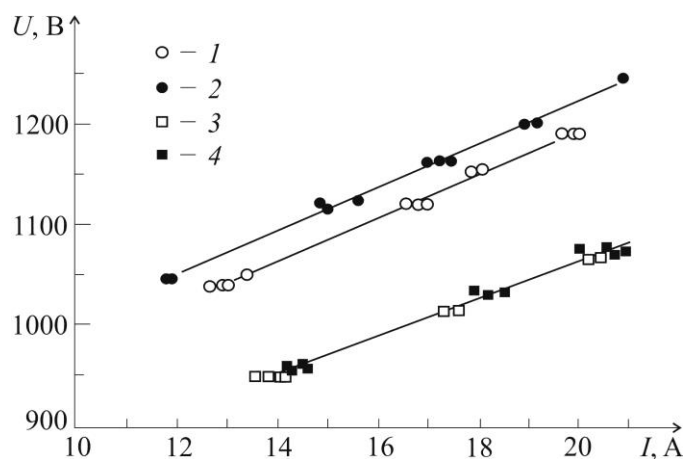


Рис. 3. Вольтамперные характеристики газоразрядного устройства:

1, 2 – $\sigma = (1,35 \pm 0,05) \cdot 10^{-3} (\text{Ом} \cdot \text{см})^{-1}$; 3, 4 – $(2,50 \pm 0,05) \cdot 10^{-3}$. 1, 3 – $m = 10 \text{ г/с}$; 2, 4 – 40

Возрастающий характер зависимости U от I обусловлен только одной причиной, а именно, увеличением разрядного промежутка за счет образования «ямы» в электролитном катоде, т.к. падение напряжения на самом катоде является практически постоянным при всех значениях тока. Эта же причина, как основная, рассматривается в работе [9] для формирования возрастающих ВАХ в интервале токов $4 \div 10 \text{ А}$. Таким образом, возрастающие ВАХ – это неотъемлемое свойство газового разряда с жидким электролитным катодом при коротких межэлектродных расстояниях.

Выводы

Образование «ямы» в электролите является характерным признаком газового разряда с жидким электролитным катодом при малых межэлектродных расстояниях, и глубина «ямы» растет при увеличении тока.

Падение напряжения на жидком электролитном катоде практически не зависит от тока, что обусловлено уменьшением омического сопротивления катода при увеличении тока за счет изменения толщины слоя электролита и повышения его температуры.

Литература

1. Максимов А.И., Хлюстова А.В. // Химия высоких энергий. 2009. Т. 43. №3. С. 195.
2. Рыбкин В.В., Смирнов С.А., Титов В.А., Аржаков Д.А. // ТВТ. 2010. Т. 48. № 4. С. 498.
3. Левко Д.С., Щедрин А.И., Черняк В.Я., Ольшевский С.В., Недыбалюк О.А. // Письма в ЖТФ. 2010. Т. № 36. Вып. 21. С. 54.

4. Samukawa S., Hori M., Rauf S. et al. // Phys. D: Appl. Phys. 2012. V. 45. № 25. P. 253001.
5. Тазмеев Х.К., Арсланов И.М., Тазмеев Г.Х. // Известия вузов. Физика. 2014. Т. 57. № 3-2. С. 227.
6. Kashapov L.N., Kashapov N.F., Kashapov R.N. IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering. 2015. V. 86. P. 012019.
7. Valiev R.A., Shakirov Yu.I., Iliuchin A.N. 2014 J. Phys.: Conf. Ser.. 2014. V. 567. P. 012040.
8. Лазаренко Б.Р., Факторович А.А., Дураджи В.Н., Брянцев И.В. // Электронная обработка материалов. 1970. №4. С. 18.
9. Мифтахов М.Н., Тазмеев А.Х., Тазмеев Х.К., Фридланд С.В. // ИФЖ. 2006. Т.79. №3. С.109.

Шайхуллина Р.М.,

канд. физ.-мат. наук, доцент,

Сарваров Ф.С.,

канд. физ.-мат. наук, доцент,

Храпковский Г.М.,

д-р хим. наук, профессор,

КГТУ, г.Казань

Квантово-химическое изучение молекулярной структуры и колебательных спектров алифатического нитрата - пропилнитрата

В работе представлены данные теоретического анализа структуры и колебательных спектров пропилнитрата. Квантово-химические расчеты проводились с помощью программы Gaussian-98 в рамках метода теории функционала плотности B3LYP в базисе 6-31G(d) [1-2]. Вследствие заторможенного вращения вокруг связей (NO-CC, φ_1) и (OC-CC, φ_2) молекула может существовать в виде разных конформаций [3]. При минимизации энергии молекулы со сканированием двугранных углов φ_1 и φ_2 получен ряд равновесных конформаций.

На рис.1 представлены равновесные *транс-транс* (ТТ, $\varphi_1=180^\circ$ и $\varphi_2=180^\circ$), *гош-гош* (GG, $\varphi_1 \sim 98^\circ$ и $\varphi_2 \sim 65^\circ$) и *гош-транс* формы (GT, $\varphi_1 \sim 98^\circ$ и $\varphi_2 \sim 180^\circ$). Из них энергетически наиболее устойчивой является ТТ-форма молекулы.

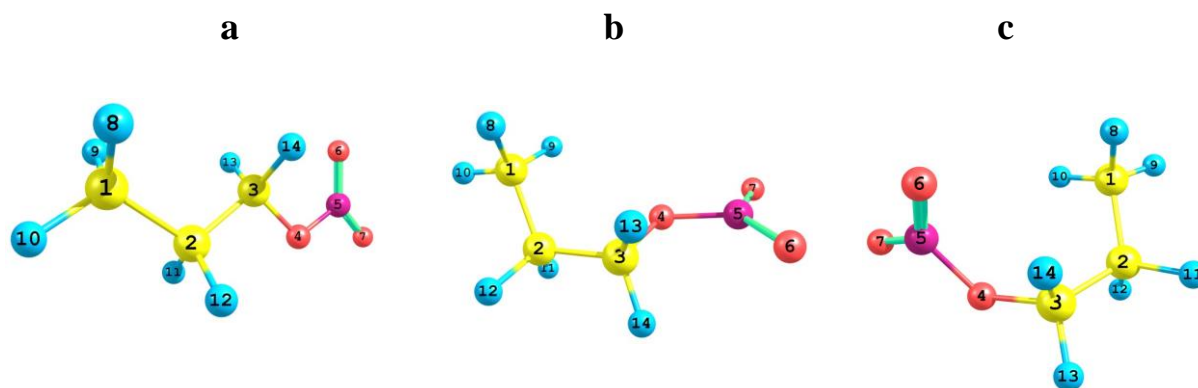


Рис. 1. Оптимизированные структуры пропилнитрата:

a – конформация *транс-транс*, **b** – конформация *транс-гош*, **c** – конформация *гош-гош*

Проведен анализ колебательных спектров равновесных форм пропилнитрата (рис.2). Установлена конформационная чувствительность валентных колебаний ν CH, в области частот $2800-3000\text{ см}^{-1}$, деформационных колебаний δ CCH, δ HCH в области частот $1400-1550\text{ см}^{-1}$.

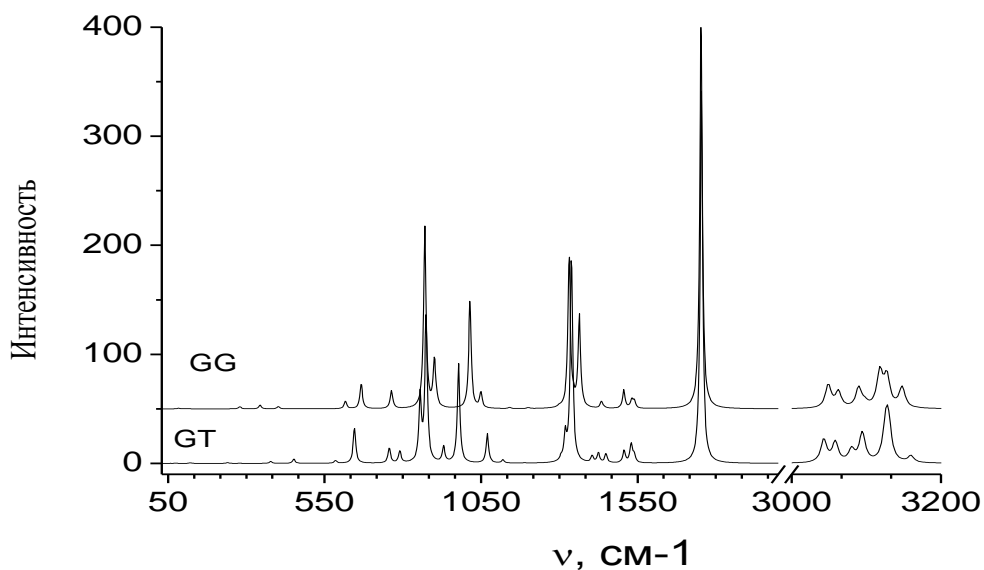


Рис. 2. Теоретические спектры GG и GT-форм пропилнитрата, рассчитанные методом B3LYP/6-31G(d)

Особое внимание было уделено нами анализу низкочастотных колебаний в диапазоне $50-500\text{ см}^{-1}$ (Рис. 3). В частности, отмечается различие частот деформационных колебаний $\delta(\text{C-O-N})$ при 380 см^{-1} и 343 см^{-1} для формы GG и GT, соответственно. Также установлено различие частот торсионных колебаний τ CO, τ CC, τ NO в области $50-120\text{ см}^{-1}$.

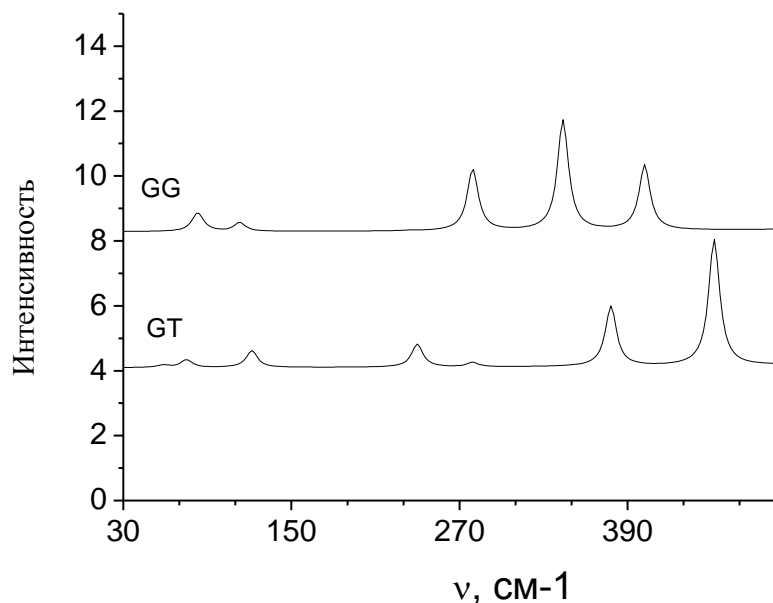


Рис. 3. Теоретические спектры GG и GT-форм пропиленитрата, рассчитанные методом *B3LYP/6-31G(d)* в области частот 30-400 cm^{-1} .

Таким образом, использование метода *B3LYP* с базисом *6-31G(d)* достаточно эффективно для изучения спектральных особенностей различных форм пропиленитрата. Полученные расчетами структуры и колебательные спектры в хорошем согласии с известными экспериментальными данными. Это позволяет надеяться, что и для других нитросоединений использование такого уровня расчетов будет также целесообразно.

Литература

1. X.D. Gong, H.M. Xiao. Studies on the molecular structures, vibrational spectra and thermodynamic properties of organic nitrates using density functional theory and ab initio methods. *Journal of Molecular Structure (Theochem)*. **2001**. Vol.572. P.213-221.
2. Шайхуллина Р.М., Храпковский Г.М., Зверева Е.Е., Мазилев Е.А. Квантово-химическое изучение молекулярной структуры и колебательных спектров метилнитрита. *Бутлеровские сообщения*. **2010**. Т.19. №3. С.10-20.
3. Береснева Г.А., Христенко Л.В., Пентин Ю.А. Колебательный спектр и поворотная изомерия пропиленитрата. *Вестн. МГУ Сер.2. Химия*. Т.26. №5. С.443-447.

4. R.M. Shaikhullina, G. M., Hrapkovsky, E. E. Zvereva. Quantum-chemical study of the molecular structure and vibrational spectra of methyl nitrate and ethyl nitrate. *Butlerov Communications*. 2015. V.42.No.5.P.152-161.

**Якупова Г.А.,
ст. преподаватель**

О существовании решений нелинейных краевых задач для полупространства упругого неоднородного анизотропного тела

Аннотация. В работе изучается разрешимость нелинейной краевой задачи в полупространстве для системы нелинейных дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка. Целью работы является доказательство теоремы существования решений. Метод исследования заключается в сведении исходной системы уравнений равновесия к системе трехмерных сингулярных интегральных уравнений, разрешимость которой устанавливается с использованием символа сингулярного оператора и принципа сжатых отображений.

Ключевые слова. Упругое неоднородное анизотропное тело, уравнения равновесия, краевая задача, трехмерные сингулярные интегральные уравнения, символ сингулярного оператора, теорема существования.

В полупространстве $V (x_3 > 0)$, занятым упругим телом, рассматривается система нелинейных дифференциальных уравнений вида

$$\sigma_{,j}^{kj} + f_k + X_k = 0, k = \overline{1,3} \quad (1)$$

(здесь и далее по повторяющимся латинским индексам ведется суммирование от 1 до 3), в которой приняты обозначения:

$$f_1 = \frac{\partial}{\partial x_j} (\sigma^{j3} \omega_2 - \sigma^{j2} \omega_3), f_2 = \frac{\partial}{\partial x_j} (\sigma^{j1} \omega_3 - \sigma^{j3} \omega_1), f_3 = \frac{\partial}{\partial x_j} (\sigma^{j2} \omega_1 - \sigma^{j1} \omega_2);$$

символ $\sigma_{,j}^{kj}$ в (1) означает частную производную $\sigma_{,j}^{kj} \equiv \partial \sigma^{kj} / \partial x_j$; x_1, x_2, x_3 - прямоугольные декартовы координаты точки полупространства $V (x_3 > 0)$; $\sigma^{kj} = \sigma^{jk}$ - компоненты напряжений:

$$\sigma^{kj} = B^{kjnm} \varepsilon_{nm}, n \leq m, j, k = \overline{1,3};$$

$\varepsilon_{kj} = \varepsilon_{jk}$ - компоненты деформаций:

$$\varepsilon_{kj} = e_{kj} + \varkappa_{kj},$$

$$j, k = \overline{1,3}, e_{jj} = u_{j,j}, e_{jk} = u_{j,k} + u_{k,j}, \varkappa_{jj} = (\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_j^2)/2,$$

$\varkappa_{kj} = -\omega_k \omega_j, j \neq k, j, k = \overline{1,3}$; ω_k - углы поворота элемента вокруг оси

$$Ox_k: \quad \omega_1 = (u_{3,2} - u_{2,3})/2, \omega_2 = (u_{1,3} - u_{3,1})/2, \omega_3 = (u_{2,1} - u_{1,2})/2;$$

$u = (u_1, u_2, u_3)$ - вектор перемещений, $u_{j,k} \equiv \partial u_j / \partial x_k, j, k = 1, 2, 3$;

$X_k (k = \overline{1,3})$ - компоненты объемных внешних сил, действующих на упругое тело; упругие характеристики $B^{kjnm} = B^{kjnm}(x)$ - известные функции переменной $x = (x_1, x_2, x_3)$, удовлетворяющие условиям:

$$B^{kjnm} = B^{nmkj} = B^{jknm}.$$

Задача I. Требуется найти решение $u = (u_1, u_2, u_3)$ системы (1) в полупространстве $V(x_3 > 0)$, удовлетворяющее на его границе $\partial V(x_3 = 0)$ условию

$$u = 0. \quad (2)$$

Задачу I будем изучать в обобщенной постановке. Пусть выполнены следующие условия: (а) квадратичная форма $B^{jknm} \varepsilon_{jk} \varepsilon_{nm}$ положительно определена в \bar{V} ; (б) упругие характеристики $B^{jknm} \in W_p^{(1)}(V), p > 3, j, k, n, m = \overline{1,3}$; (в) внешние силы $X_k \in L_p(V), p > 3, k = \overline{1,3}$.

Определение. Обобщенным решением задачи I назовем вектор перемещений $u = (u_1, u_2, u_3) \in W_p^{(2)}(V), p > 3$, почти всюду (п.в.) удовлетворяющий системе (1) и граничному условию (2) ($W_p^{(j)}(V) (j = 1, 2)$ - пространства Соболева).

Если систему уравнений (1) записать в перемещениях, то получим систему уравнений вида

$$b_{kj}^{nm} u_{jy_n y_m} + l_k(u) + g_k(u) + X_k = 0, k = \overline{1,3}, \quad (3)$$

где $l_k(u), g_k(u)$ - соответственно линейные вполне непрерывные и нелинейные ограниченные операторы в $L_p(V), p > 3$; b_{kj}^{nm} - известные функции.

Решение системы (3), удовлетворяющее на его границе $\partial V (x_3 = 0)$ условию (2) будем искать в виде

$$u(x) = \iiint_V G(y,x)\rho(y) dy, \quad dy = dy_1 dy_2 dy_3, \quad (4)$$

где $\rho = (\rho_1, \rho_2, \rho_3)$ - произвольная вектор-функция, принадлежащая пространству $L_p(V), p > 3$; $G(y, x)$ - гармоническая функция Грина задачи Дирихле для полупространства $V (x_3 > 0)$.

Если соотношение (4) подставить в (3), то для определения функции $\rho = (\rho_1, \rho_2, \rho_3)$ придем к системе трехмерных нелинейных сингулярных интегральных уравнений вида

$$P_{kj}(\rho_j) + g_k(\rho) + X_k = 0, \quad k = \overline{1,3}, \quad (5)$$

$$P_{kj}(\rho_j) = -\frac{1}{3} \cdot (b_{kj}^{11} + b_{kj}^{22} + b_{kj}^{33})\rho_j(x) + \frac{1}{4\pi} b_{kj}^{nm} \iiint_{E_3} \frac{f_{kj}(\theta)}{|y-x|^3} \rho_k^*(y) dy + l_k(\rho),$$

$$\theta = \frac{y-x}{|y-x|}, \quad k, j = \overline{1,3};$$

$\rho_k^*(y) = \rho_k(y)$ при $y \in V$ и $\rho_k^*(y) = -\rho_k(\bar{y})$ при $y \in \bar{V}$, E_3 - трехмерное евклидово пространство.

Отметим, что $P_{kj}(\rho_j)$ суть ограниченные операторы в $L_p(V), p > 3$.

Через $\Phi_{kj}(x, \theta)$ обозначим символ сингулярного оператора $P_{kj}(\rho_j)$. Имеем $\Phi_{kj}(x, \theta) = -b_{kj}^{nm}(x)\theta_n\theta_m, j, k = \overline{1,3}, n, m = \overline{1,3}, x \in V$. Можно показать, что $|\Delta_1| = |\Phi_{11}| \geq c > 0 \forall x \in \bar{V}, \forall \theta \in \partial S_1$. Кроме того, предположим, что упругие характеристики B^{jknm} таковы, что выполняются условия

$$|\Delta_j| \geq c > 0 (j = 2,3) \forall x \in \bar{V}, \forall \theta \in \partial S_1, \quad (6)$$

где $\Delta_2 = \det(\Phi_{kj})_{2 \times 2}$, $\Delta_3 = \det(\Phi_{kj})_{3 \times 3}$.

Тогда получаем, что точные нижние границы модулей определителей $\Delta_j (j = \overline{1,3})$ положительны. Следовательно [1, с.192], индекс системы уравнений (5) равен нулю и к ней применима альтернатива Фредгольма. В результате система (5) сведется к эквивалентной системе вида

$$\rho - G\rho = 0, \quad (7)$$

где $G\rho$ - нелинейный ограниченный оператор в $L_p(V), p > 3$, причем при любых $\rho^j (j = 1, 2) \in L_p(V), p > 3$, принадлежащих шару $\|\rho^j\|_{L_p(V)} < r$, справедлива оценка:

$\|G(\rho^1) - G(\rho^2)\|_{L_p(V)} \leq (q_1 + q_2 r)r \|\rho^1 - \rho^2\|_{L_p(V)}$, где $q_j (j = 1, 2)$ - известные постоянные, не зависящие от r .

Предположим, что радиус r шара и внешние силы, действующие на упругое тело, таковы, что выполняются условия

$$q = (q_1 + q_2 r)r < 1, \|G(0)\|_{L_p(V)} < (1 - q)r. \quad (8)$$

В этих условиях к уравнению (7) можно применить принцип сжатых отображений [2, с.146], согласно которому уравнение (8) в шаре $\|\rho\|_{L_p(V)} < r$ имеет единственное решение $\rho \in L_p(V), p > 3$. Зная $\rho = (\rho_1, \rho_2, \rho_3)$, по формуле (4) находим решение $u = (u_1, u_2, u_3) \in W_p^{(2)}(V), p > 3$ задачи I.

Таким образом, доказана следующая основная теорема:

Теорема. Пусть выполнены условия (а), (б), (в), неравенства (6), (8). Тогда задача I для произвольного упругого неоднородного анизотропного тела имеет единственное обобщенное решение

$$u = (u_1, u_2, u_3) \in W_p^{(2)}(V), p > 3.$$

Литература

1. Михлин С.Г. Многомерные сингулярные интегралы и интегральные уравнения. – Л.: Физматгиз, 1962. – 256 с.
2. Красносельский М.А. Топологические методы в теории нелинейных интегральных уравнений. – М.: Гостехиздат, 1956. – 392 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки.....	3
Секция «Разработка и исследование перспективных материалов и технологий их обработки».....	3
Секция «Транспортные системы и технологии».....	45
Секция «Инфокоммуникационные системы и моделирование процессов».....	121
Секция «Энергетика, энергоресурсосберегающие техника и технологии».....	199
Секция «Экологическая и техносферная безопасность».....	217
Секция «Актуальные проблемы математики и физики».....	223